

Toni Kinnarinen

Sisäilman laadun tutkinta

Insinöörityö
Kajaanin ammattikorkeakoulu
Tekniikan ja liikenteen ala
Rakennustekniikka
22.4.2014



Koulutusala Tekniikka ja liikenne	Koulutusohjelma Rakennustekniikka
Tekijä(t) Toni Kinnarinen	
Työn nimi Sisäilman laadun tutkinta	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Tuotantotekniikka	Toimeksiantaja Puolustushallinnon rakennuslaitos
Aika Kevät 2014	Sivumäärä ja liitteet 51 + 11
<p>Insinööriyön aihe on valittu työharjoittelussa puolustushallinnon rakennuslaitoksella, joka toimii puolustusministeriön alaisuudessa. Tutkimustapana oli etsiä ensin teoreettista tietoa eri lähteistä ja kirjoittaa käytännön työhön liittyvää teoreettista aineistoa. Kappaleessa, jossa kerrotaan ilmastointityömaasta, teoreettista tietoa sovelletaan käytäntöön.</p> <p>Tutkimustyön tavoitteena on tutkia sisäilmaa ja sisäilman laadun koostumusta sekä miten siihen voidaan vaikuttaa ilmastoinnilla tai ilmanvaihdoilla. Lisäksi vastataan seuraaviin tutkimuskysymyksiin. 1. Mistä tekijöistä sisäilma koostuu ja miten ne vaikuttavat ihmisen asuinympäristöön? 2. Mitä ilmastointi on ja miten sitä huolletaan? 3. Miten sisäilman ja siihen liittyvän ilmastoinnin vaatimukset huomioidaan työmaalla sekä mikä vaikutus tehdyllä työllä on sisäilman laatuun ja ilmastoinnin toimintaan?</p> <p>Sisäilma ja sen laatu alkaa muodostua jo rakennuksen valmistusvaiheessa. Oikeiden rakennusmateriaalien ja –menetelmien valinnalla sekä ilmastoinnin suunnittelulla voidaan vaikuttaa tulevan rakennuksen sisäilman laatuun. Sisäilman laatu koostuu rakennusmenetelmien ja -materiaalien lisäksi myös rakennuksen käyttötarkoituksesta, käyttäjien vaikutuksesta ja eri epäpuhtauksista sekä näiden epäpuhtauksien torjumisesta. Ilmastoinnilla ja ilmanvaihdoilla on keskeinen merkitys sisäilman laadun kannalta. Säännöllisillä huoltotoimenpiteillä, kuten suodattimien vaihdolla ja puhdistustoilla, saadaan suuri vaikutus sisäilman parantamisen kannalta.</p>	
Kieli	Suomi
Asiasanat	Sisäilma, ilmastointi
Säilytyspaikka	<input type="checkbox"/> Verkkokirjasto Theseus <input type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto

School Engineering	Degree Programme Construction Engineering
Author(s) Toni Kinnarinen	
Title Indoor Air and Ventilation	
Optional Professional Studies Production Technology	Commissioned by Construction Establishment of Defence Administration
Date Spring 2014	Total Number of Pages and Appendices 51 + 11
<p>The subject of this work was given Construction Establishment of Defence Administration. Target of this research is to study indoor air, its quality and how it can be affected by air conditioning and ventilation. Also one target is to answer the following questions: 1. What are the factors that form indoor air and how they affect human's habitat? 2. What is air conditioning how to maintain it? 3. How are indoor air and air conditioning requirements noted at working site and how the work affects at indoor air quality and working of air conditioning?</p> <p>Sources of this work are books that deal with indoor air quality and air conditioning. There are also journal articles and internet sources that supports the work. Journal articles have also given some alternative information about the subject of this work. The research practice was to find theoretical information about the subject and then apply it to practice.</p> <p>Indoor air and its quality begins to form when the building is started to built. Choosing the right building material and method and good planning is important when thinking indoor air quality. It is affected also by what the building is used for, how it is used and how impurities are countered. Air conditioning and ventilation has important meaning when viewing the indoor air quality. With regular maintenance like filter exchanging and air condition cleaning we can make great difference to air we breathe.</p> <p>Studies about indoor air quality are very few when compared to outdoor air and factory air studies. Further researches are very important to this field of study. For further researches it would interesting to explore subject where natural ventilation is brought to indoor air.</p>	
Language of Thesis English	
Keywords	Indoor air, air conditioning
Deposited at	<input type="checkbox"/> Electronic library Theseus <input type="checkbox"/> Library of Kajaani University of Applied Sciences

ALKUSANAT

Insinööriyön aihe on valittu työharjoittelussa Puolustushallinnon rakennuslaitoksella keväällä 2013. Idea työhön syntyi keskustelusta LVI-puolen työnjohtajan Heikki Ohtamaan kanssa. Työharjoittelun aikana suoritettiin valvontatöitä Kainuun Prikaatin kasarmien ilmastointityömaihin. Tässä työssä käsiteltävällä työmaalla iv-urakoitsijana toimi Sotkamon erikoispuhdistus ja insinööriyö on tehty yhteistyössä rakennuslaitoksen ja Sotkamon erikoispuhdistuksen kanssa. Valmiit yhteydet ja tutut entiset työtoverit Sotkamon erikoispuhdistuksella helpottivat työn tekemistä ja sujuvuutta yhteistyön ollessa erittäin mielekästä.

Insinööriyön aihe on haastava, koska sisäilman tutkimukset ja julkaisut ovat suhteellisen vähäisiä verrattaessa esimerkiksi muihin ilmastointialan tutkimuksiin, joten aiheeseen liittyen on hankalaa löytää tarpeeksi lähdetietoja. Tästä huolimatta aihe on kiinnostava. Aihetta pitäisi tutkia laajemmin, koska sisäilmaan liittyvät tutkimukset ovat varsin vähäisiä.

Haluan osoittaa kiitokseni Puolustushallinnon rakennuslaitoksen Kajaanin toimipisteelle, erityisesti työn ohjaajalle Heikki Ohtamaalle, jonka avulla idea tähän työhön syntyi. Haluan kiittää myös ohjaavaa opettajaani Allan Mustosta. Erityiset kiitokset myös Jami Virrälle korvaamattomasta avusta työn tekemisessä sekä avopuolisolleni ja perheelleni loputtomasta tuesta työn tekemisessä.

Kajaanissa 18.4.2014

Toni Kinnarinen

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	2
2 SISÄILMA	4
2.1 Sisäilman laatuun vaikuttavia tekijöitä	5
2.2 Mineraalivillakuidut	7
2.3 Huonosta sisäilmasta johtuvia oireita	10
2.4 Miten parantaa sisäilman laatua	12
2.5 Sisäilman ja sen laadun tärkeimmät tekijät	16
3 ILMASTOINTI	17
3.1 Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmät	18
3.1.1 Painovoimainen ilmanvaihto	20
3.1.2 Koneellinen poistoilmanvaihto	21
3.1.3 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto	22
3.1.4 Lämmöntalteenotto	25
3.1.5 Suodattimet	26
3.2 Ilmastointilaitteiden huolto ja puhdistus	27
3.3 Ilmavirtojen mittaus ja säätö	30
3.4 Ilmastointilaitteiden vaikutus sisäilmaan	36
4 KAIJIP:N ILMASTOINTITYÖMAA	38
4.1 Rakennuksen ilmastointijärjestelmä	38
4.2 Kuitunäytteiden otto ja käyttäjien haastattelu	40
4.3 Villan purku ja ilmastointijärjestelmän puhdistus	42
4.4 Acutecin asennus ja ilmavirtojen säätö	45
4.5 Äänitasomittaukset	48
4.6 Ilmastointityön vaikutukset	49
5 YHTEENVETO	50
5.1 Keskeiset johtopäätökset	50
5.2 Jatkotutkimukset	51
LÄHTEET	52

SYMBOLILUETTELO

A = Kanavan poikkipinta-ala

C = Epäpuhtauden pitoisuus

f = Mittausvirhe

k = Menetelmäkerroin (valitaan taulukosta)

LH = Lämpötilahyötysuhde

m = Epäpuhtauden määrä

m_1 = Mittauslaitteen virhe - %

m_2 = Menetelmävirhe

m_3 = Lukemavirhe

P_d = Dynaaminen paine

ΔP_m = Paine-ero

q_v = Tilavuusvirta [m^3/s] tai [l/s]

RH = Ilman suhteellinen kosteus

S_1, S_2, S_3 = Sisäilman laadun luokituksia

T_1 = Ulkoa tulevan ilman lämpötila

T_2 = Sisälle siirtyvän ilman lämpötila

T_3 = Sisältä lähtevän ilman lämpötila

V = Ilmatilavuus, johon epäpuhtaus sekoittuu

v_k = Ilmavirran keskinopeus

ρ = Mitattavan kaasun tiheys

1 JOHDANTO

Insinööritoiminnan tilaaja on Puolustushallinnon rakennuslaitos, joka toimii puolustusministeriön alaisuudessa. Rakennuslaitoksen Kajaanin toimipisteen suurin asiakas on Kainuun Prikaati. Tässä työssä käsiteltävä ilmastointityö sijoittuu Kainuun Prikaatissa sijaitsevaan Kainuun jääkäripataljoonaan.

Nykyään sisäilman tärkeyttä on ryhdytty korostamaan entistä enemmän ja sen laatuun on alettu kiinnittää huomiota. Ihminen viettää suurimman osan ajastaan ja nukkuu sisätiloissa, jonka takia on erittäin tärkeää selvittää, minkälaisessa ja minkälaisissa ilmastossa vietämme aikamme, mitkä tekijät vaikuttavat sisäilman laatuun ja miten käyttäjä itse voi vaikuttaa tähän. Tärkeää on myös selvittää, minkälaisia hyötyjä ja haittoja mekaanisesti tuotetusta sisäilmasta on ja minkälaisen prosessin ilma käy läpi, kun se tuodaan ulkoa ilmastointikoneen kautta sisätiloihin sekä minkälaisia epäpuhtauksia se aiheuttaa. Huomattava vaikuttaja sisäilmassa on myös, miten se tuotetaan. Tästä johtuen tässä työssä käydään läpi erilaisia ilmastointi- ja ilmanvaihtojärjestelmiä tämän asian selvittämiseksi.

Tämän insinööritoiminnan tavoitteena on selvittää, mistä eri tekijöistä sisäilma ja sisäilman laatu koostuu ja miten siihen voidaan vaikuttaa ilmastoinnilla tai ilmanvaihdoilla. Työn tavoitteiden saavuttamiseksi on vastattava seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Mistä tekijöistä sisäilma koostuu ja miten ne vaikuttavat ihmisen asuinympäristöön?
2. Mitä ilmastointi on ja miten sitä huolletaan?
3. Miten sisäilman ja siihen liittyvän ilmastoinnin vaatimukset huomioidaan työmaalla sekä mikä vaikutus tehdyllä työllä on sisäilman laatuun ja ilmastoinnin toimintaan?

Työssä on käytetty seuraavanlaisia lähdeaineistoja: *Terveellinen sisäilma*, jonka kirjoittaja on Eija Puhakka. Tutkimus on työssä eniten käytetty lähde, koska se tarjoaa tietoa kaikista kattavimmin. Toinen paljon käytetty kirjallisuus on Tapio Korkalan, Jaakko Laksolan ja Markku Salmisen kirjoittama *Kiinteistön ilmastoinnin hoito ja huolto*. Se tarjoaa paljon yksityiskohtaista tietoa ilmastointilaitteista ja niiden huoltamisesta ja sitä käytettiin erityisesti ilmastointia käsittelevissä luvuissa. Lisäksi työssä on käytetty erilaisia Internet-lähteitä ja lehtiartikkeleita tu-

kemaan tekstiä sekä esittämään vaihtoehtoisia näkökulmia tiettyihin aiheisiin. Työssä on käytetty lähteenä myös kasarmirakennuksen käyttäjiä oireilujen kuvailuun.

2 SISÄILMA

Tässä luvussa tarkastellaan sisäilman laatua, huonosta sisäilmasta aiheutuvia oireita ja miten sisäilman laatuun voidaan vaikuttaa. On tärkeää osata tunnistaa huonon sisäilman aiheuttamat oireilut, koska kun aiheuttaja tiedetään, pystytään siihen vaikuttamaan. Rakennuksen käyttäjän on hyvä tietää miten hän pystyy sisäilman laatuun vaikuttamaan ja tarvittaessa parantamaan sitä. Yhdessä kappaleessa käsitellään myös mineraalivillakuituja, koska ne ovat yksi merkittävä tekijä ilmastoinnin ja sisäilman laadun kannalta.

Miksi hyvä sisäilma on tärkeää? Sisäilmasto on ilmaa, jota rakennuksissa hengitämme. Se muodostuu rakennuksen sisälle sisäilmasta ja siihen vaikuttavista ympäristön fysikaalisista tekijöistä. Ihminen viettää jopa 90 % ajastaan erilaisissa sisätiloissa, hengittäen sisäilmaa. Tästä johtuen ilman epäpuhtauksista juuri sisäilman epäpuhtaudet vaikuttavat ihmiseen kaikista eniten. Periaatteessa sisäilma on sisälle joko koneellisesti tai vapaasti siirrettyä ulkoilmaa, joka on vain laadultaan ulkoilmaa heikompaa. Sisätiloihin tuotavan ilman laatua heikentävät esimerkiksi rakennuksesta itsestään, rakennuksen ulkopuolelta ja ihmisen omista toiminnoista peräisin olevat epäpuhtaudet, jotka kertyvät sisäilmaan. Jonkin epäpuhtauden osuuden kasvaessa sisäilmassa sisätiloissa olevat ihmiset saattavat reagoida tähän terveysoirein tai epäviihtyvyyntuntemuksin. [1, s. 15–16.]

Huono sisäilma ja ilman epäpuhtaudet aiheuttavat ihmisissä oireita ja sairauksia. Sairauksien hoidosta, työstä ja poissaoloista sekä työtehon laskusta aiheutuu suuria kustannuksia. Tästä johtuen huono sisäilman laatu on kansanterveydellinen sekä kansantaloudellinen ongelma. Myös itse huonosta sisäilmasta voi aiheutua yllättäviä kustannuksia. Ilmanvaihtolaitteisiin sijoitettu raha tulee aiheuttamaan turhia kustannuksia, jos laitteisto ei toimi suunnitelmien mukaisesti, johtuen puutteellisesta huollosta tai väärästä käyttötavasta. Kun rakennusta hoidetaan oikein ja rakennukseen suunnitellaan ja asennetaan oikeanlainen ilmastointilaitteisto, saadaan merkittävä vaikutus sisäilman laadun parantamiseen ja säästetään huomattavia summia myös kustannuksissa.[1, s. 15–16.]

Sisäilman laadulle voidaan asettaa useita erilaisia vaatimuksia. Nämä vaatimukset riippuvat tilan käyttötarkoituksista sekä tilassa tapahtuvasta toiminnasta. Vaatimus saattaa lähteä tilassa oleskelevista ihmisistä ja näiden toiminnasta, rakenteiden asettamista vaatimuksista, tilassa tapahtuvista työprosesseista tai tilassa olevista laitteista. Ihmisistä johtuvat vaatimukset kos-

kevat lähinnä sisäilman terveellisyyttä ja viihtyvyyttä. On kuitenkin tärkeää ottaa huomioon, että ilman terveellisuuden vaatimus on yleensä tiukempi kuin viihtyisyysvaatimus. [1, s. 119.]

2.1 Sisäilman laatuun vaikuttavia tekijöitä

Sisäilman laatuun ja viihtyvyyteen vaikuttavat pääsääntöisesti rakennuksen materiaalien kaasumaiset ja hiukkasmaiset päästöt, rakennuksen kosteusvauriot ja niiden aiheuttama mikrobikasvusto sekä home- ja laho-ongelmat. Ilmanvaihtokoneista johtuva huono hygienia tuo mukanaan epäpuhtauksia ulkoilmasta ja ilmanvaihtokanavista. Nämä vaikuttavat heikentävästi sisäilman laatuun. Myös ihminen ja ihmisen toiminta on hyvin vahvasti vaikuttava tekijä sisäilman laadun kannalta. Joillakin alueilla on otettava huomioon myös maaperän radon. [1, s. 16.]

Sisäilman huonontumiseen vaikuttavat pääasiassa erilaiset hiukkasmaiset ja kaasumaiset epäpuhtaudet. Nykypäivän yleisimpiä sisäilman epäpuhtauksien päästölähteitä ovat sisustus- ja rakennusmateriaalit, lemmikkieläimet, tupakansavu ja ihmisen toiminnot. Sisäilman laatuun vaikuttavat suuresti näiden lisäksi myös ulkoilman mukana kulkeutuvat epäpuhtaudet. On myös raportoitu paljon kosteuden takia vaurioituneiden tasotteiden ja liimojen ja mattojen aiheuttamista sisäilmaongelmista [2.]

Tarkasteltaessa sisäilmaa ja sen laatua sekä näihin vaikuttavia tekijöitä on syytä ottaa huomioon myös eri vuodenajat ja näiden vaikutukset sisäilmaan. Talvella kovien pakkasten aikaan ilman suhteellinen kosteus RH saattaa laskea jopa alle 20 %:n. Talviaikaan huoneilmakin on lähestulkoon aina kuivaa ($\text{RH} < 40\%$). Kuiva sisäilma tehostaa ihon, hengitysteiden ja limakalvojen ärsytysoireita, joita voidaan kuitenkin helpottaa laskemalla huoneilman lämpötilaa, koska lämmin sisäilma lisää ilman kuivuutta. Ilmaa voi myös kostuttaa erilaisilla kostuttimilla. Tällöin on huolehdyttävä ilmankostuttimen kunnossapidosta ja siitä, että ilma ei kostu liikaa, ettei kosteus pääse tiivistymään ikkunoihin eikä muihin kylmiin pintoihin tai pahimmassa tapauksessa jopa rakenteisiin. Jos huoneilman suhteellinen kosteus ylittää talvella 45 %, on huoneilma tällöin jo liian kosteaa, mikä voidaan havaita juuri ikkunoihin tiivistyneestä kosteudesta. Kesäisin tilanne saattaa taas olla talviaikaan nähden päinvastainen eli sisäilma voi olla hyvinkin kosteaa huoneilman kosteuden seurattessa ulkoilman kosteuspitoisuuksia, jotka vaihtelevat välillä 50–70 %. Ihmisen toiminnoista johtuva (esim. pyykinpesu) huoneilman

liiallinen kosteus voidaan poistaa tehostamalla ilmanvaihtoa ja muuttamalla eri toimintatapoja, esimerkiksi kuivaamalla pyykki muualla kuin asuintiloissa. [3.]

Sisäilman laatuun vaikuttavien tekijöiden merkitys korostuu nykypäivän rakentamisessa, esimerkiksi passiivitalojen rakentamisessa. Lyhyesti sanottuna sisäilman voidaan katsoa muodostuvan seuraavista pääosista:

- Lämpöolosuhteet
- Kosteus
- Ilman laatu
- Säteilyolosuhteet
- Sähköiset ominaisuudet
- Valaistus
- Melu [4, s. 3.]

Ilman laadun perustan tekijöinä ovat riittävä happipitoisuus, pienet epäpuhtauspitoisuudet ja hajuttomuus. Yleisimpiä epäpuhtauksia ovat:

- Leijuvat pölyt
- Epäorgaaniset kaasut
- Orgaaniset kaasut
- Bioaerosolit (bakteerit, itiöt yms.) [4, s. 3.]

Sisätilojen äänitaso on tärkeä ilmastointiin vaikuttava tekijä, koska ilmastointi aiheuttaa helposti melua, joka vaikuttaa viihtyvyyteen. Melun estäminen onkin yksi ilmastoinnin rakentamiseen merkittävästi liittyvä tehtävä. Melun tasoon vaikuttavia tekijöitä ovat mm:

- Ääniteho
- Äänen taajuus

- Kesto
- Impulssimaisuus
- Huoneen ominaisuudet
- Ilmastointilaitteen ja kanavien eristys [4, s. 3.]

Sisäilman laatua heikentävät kosteus ja home ovat liitetty hengitystie- ja astmaoireisiin. Tietty homeet ja aktinobakteerit tuottavat 2-etyyliheksanolia, joka kertyy elimistöön pikkuhiljaa. Aineelle altistuminen aiheuttaa silmien, ihon sekä hengitysteiden ärsytystä. Yhdiste voi syntyä myös rakennekosteuden takia sekä PVC-muovien kuten lattiapinnoitteiden valmistuksessa pehmittimenä käytettävien ftalaattien hajoamistuotteena. Ftalaatteja löytyy myös tasoitteista ja liimoista. Asiantuntijat kuitenkin kiistelevät siitä, kuinka suuret pitoisuudet 2-etyyliheksanolia ovat haitallisia terveydelle. [5, s. 104.]

Ilman laatu voidaan laskea, kun epäpuhtaus sekoittuu täydellisesti ilmaan. Tällöin saadaan epäpuhtauden pitoisuus jakamalla epäpuhtauden määrä sillä ilmatilavuudella, johon se sekoittuu. Ilman epäpuhtauden pitoisuus saadaan laskettua kaavalla:

$C = m/V$, jossa

C = Epäpuhtauden pitoisuus

m = Epäpuhtauden määrä

V = Ilmatilavuus, johon epäpuhtaus sekoittuu [4, s. 56.]

2.2 Mineraalivillakuidut

Mineraalivillakuidut ovat merkittävässä osassa tässä työssä, koska ne toimivat erinomaisesti eristekäytössä niiden vaimentaessa melua ja eristäessä lämpöä ja tulipaloja. Mineraalivilla on todennäköisesti eniten käytetty eriste ilmastointi- ja ilmanvaihtolaitteissa, mikä lisää kyseisen materiaalin tutkinnan tärkeyttä.

Mineraalivillakuidut aiheuttavat tavallisesti silmien, ihon ja limakalvojen ärsytysoireita. Niiden ei kuitenkaan ole todettu aiheuttavan sairauksia tai allergiaa. Mineraalivillakuidut tulevat esi-

merkiksi suojaamattomista äänieristysvilloista, väliseinien eristyksistä tai ilmanvaihtolaitteiden rikkoutuneista äänenvaimentimista. Ongelma ratkeaa useimmiten vaihtamalla eristysvillat, tiivistämällä rakenteita tai korjaamalla äänenvaimentimet. [6.]

Mineraalivillaa käytetään pääsääntöisesti lämmön, palon ja äänen eristyksessä rakennuksissa sekä LVI- ja prosessilaitteissa. Lasi- ja mineraalivilloja, joita käytetään eristeinä, kutsutaan yhteisesti nimellä eristevillat. Eristevilloista irtoaa ilmaan kuituja, kun niitä tuotetaan ja käytetään. Tämä tarkoittaa, että ajan kuluessa mineraalivilla haurastuu ja leviää sisäilmaan aiheuttaen erilaisia oireita. Kuitujen esiintymistä voikin estää käyttämällä akustiikkaeristeenä kokonaan pinnoitettuja levyjä sekä pinnoitettuja eristeitä ilmastointikanavissa. Ilmanvaihtokanavien puhdistuksen yhteydessä olisikin ensisijaisen tärkeää pyrkiä pitämään mineraalivillakeristeet ehjinä. Mineraalivillakuidusta, jota esiintyy sisäilman epäpuhtauksina, on erotettava ilmassa leijuvat ja hengitettävät kuidut sekä isokokoiset pinnoille laskeutuvat kuidut. Nämä isokokoiset pinnoille laskeutuvat kuidut, joiden läpimitta on yli 3 mikrometriä, ovat merkityksellisiä sisäilman kannalta. Niiden lähteinä toimivat yleensä pinnoittamattomat tai huonokuntoiset mineraalivillasta tehdyt akustiikkalevyt tai ilmastointikanavien äänieristeet. Ilmassa leijuvat pienet kuidut taas syntyvät yleensä eristevillan tuotannossa. [1, s. 62.]

Mineraalivillalla on useita terveydelle haitallisia vaikutuksia, joista tärkein terveydellinen haitta on ihoärsytys, joka aiheutuu terävän kuidun tunkeutumisesta ihoon. Kuitumainen lasi ärsyttää vahvasti myös silmiä ja voi aiheuttaa oireita hengitysteissä. Puhakka toteaa tutkimuksensa, että Saksassa ja USA:ssa tehdyissä tutkimuksissa on tuotu mineraalivillakuitu esiin mahdollisena syöpää aiheuttavana aineena. Näiden syöpärisikin arvioidaan liittyvän teollisuusympäristöaltistukseen, ilmassa leijuviin, asbestikuitujen kokoisiin mineraalivillakuituihin. Tähän mennessä suoritetuissa epidemiologisissa tutkimuksissa ei kuitenkaan ole onnistuttu esittämään riittävää yhteyttä mineraalivillakuitu- ja keuhkosityövän välillä. [1, s. 62.]

Puhakka kertoo kirjassaan, että useissa maissa tehdyt erilaiset tutkimukset eivät ole pystyneet osoittamaan, että rakennusten sisäilmassa esiintyisi leijuvia mineraalivillakuituja merkittävinä pitoisuuksina. Suurempi merkitys on todennäköisesti pitkällä ja paksuilla laskeutuvilla kuiduilla, joita voi irrota esimerkiksi ilmastointikanavan eristeistä ja tätä kautta siirtyä sisäilmaan. Sairas rakennus-oireyhtymä viittaa ympäri maailmaa 1970-luvulla rakennettuihin tai korjattuihin rakennuksiin, joissa on esiintynyt yhtenäistä oireilua, kuten allergisoitumista ja flunssaa. USA:ssa tutkittiin yhdeksää eri rakennusta ja todettiin yhteys rakennuksen käyttäjien sairas rakennus -oireiden ja laskeutuvan pölyn sisältämien mineraalivillakuitujen pitoisuuksien

välillä. Sen sijaan sairas rakennusoireyhtymän ja ilmassa leijuvien mineraalivillakuitujen pitoisuuksien välillä ei pystytty toteamaan yhteyttä. Vastaavia tutkimuksia on tehty toimistoissa ja muissa samankaltaisissa tiloissa ja nämä tutkimukset osoittavat, että näiden kaltaisissa tiloissa esiintyy yleisimmin pinnoille laskeutuvia kuituja. Tämän käytetyn määritelmän mukaan sallittu määrä on 0,07 kuitua neliösenttimetriä kohden. Näissä testeissä pitoisuudet ovat olleet pienimillään juuri tämän rajan tienoilla. Kyseisissä tiloissa mineraalivillakuitujen lähteinä ovat olleet sivuilta pinnoittamattomat mineraalivillaiset akustiikkalevyt tai eristepöly, joka on päässyt ilmanvaihtokanaviin. Olisikin tärkeää käyttää kokonaan pinnoitettuja akustiikkaeristeitä ja pinnoitettuja eristeitä ilmanvaihtokanavissa, jotta voitaisiin estää mineraalivillakuitujen esiintymisiä sisäilmassa ja pinnoilla. Lisäksi on pyrittävä pitämään mineraalivillaeristeet ehjinä ilmastoinnin puhdistustyön yhteydessä, tai vaihtoehtoisesti mineraalivillat voidaan vaihtaa korvaaviin mutta pölyämättömiin eristeisiin, jotka eivät sisällä mineraalivillakuituja. [1, s. 20.] [1, s. 64.]

Mineraalivillaa on alettu korvaamaan ilmastointijärjestelmissä erilaisilla materiaaleilla, joilla haetaan samoja hyötyjä ilman mineraalivillan haittavaikutuksia. Oikean rakennusmateriaalin valinta ja käsittely kuten kastumisen estäminen ja myrkyttömien puhdistusaineiden valitseminen käyttäminen eristeinä parantaa rakennuksen sekä sen käyttäjien terveyttä. Esimerkkinä voidaan käyttää Lindabin acutec äänenvaimennusmateriaalia, joka on polyesteristä valmistettua materiaalia ilmanvaihdon päätelaitteissa ja äänenvaimentimissa. Acutec on väriltään luonnonvalkoista, valmistajan mukaan se ei mätäne, homehdu eikä aiheuta päästöjä. Acutecia voidaan käyttää myös kanavan sisäpuolisen kondensaation ehkäisemiseen. Sitä voidaan käsitellä paljain käsin, puhdistaa nylonharjauksella, imuroinnilla tai jopa vesipesulla, koska se ei sido kosteutta kuin 0,4 % lasivillan sitoessa 65 %. [5, s. 106–107.][7.]

Orgaanisena eristemateriaalina voidaan käyttää lampaanvilla. Lampaanvilla sitoo formaldehydiä sekä rikki- ja typpioksidia, joita erittyy joistakin muista materiaaleista ja kosteusvaurioprosesseista. Toisin kuin monet muut eristemateriaalit, lampaanvilla eristää luonnostaan homeen muodostumista. Sitä voidaan käyttää myös pehmusteena huonekaluissa, koska lampaanvilla ei ole helposti syttyvää. Tämä ympäristöystävällinen materiaali kestää koko rakennuksen eliniän, ja eristelevyjä voidaan myös kierrättää. [5, s. 108.]

2.3 Huonosta sisäilmasta johtuvia oireita

Sisäilmaa ei ole totuttu näkemään ekologisena ympäristönä, sillä emme voi nähdä mikroskooppisen pientä eliöstöä ja viruksia. Silti hengityksen mukana kulkee jatkuvasti miljoonia mikrobeja. Sisäilman mikrobeilla väitetään olevan suora yhteys astmaan, allergioihin ja muihin hengityselinten sairauksiin. Sisäilman epäpuhtaudet voivat aiheuttaa ihmisille monenlaisia terveyshaittoja, esimerkiksi ärsytys- ja epäviihtyvyysoireita ja jopa vakavia sairauksia. Oireet ja terveysvaikutukset riippuvat epäpuhtaudesta, epäpuhtauspitoisuuksista, altistumisajasta, ympäristön olosuhteista, kuten ilmastolliset olosuhteet, jotka vaihtelevat eri maissa, sekä ihmisen terveydentilasta, sukupuolesta, perimästä ja iästä. Monet epäpuhtaudet aiheuttavat ärsytysoireita, jotka ilmenevät terveyshaittoina hengitysteiden limakalvoilla, keuhkoputkissa, veressä, keskushermostossa, iholla ja silmissä. Ihmisen elimistöllä on puolustusmekanismeja epäpuhtauksia vastaan, jos ne ylikuormittuvat, epäpuhtaudet aiheuttavat sairautteen johtavia muutoksia esimerkiksi hengitysteissä ja heikentävät hengitysteiden luontaista vastustuskykyä, joten ne mahdollistavat siten helpommin virusten ja bakteerien epäterveellisiä vaikutuksia. Useimmat epäpuhtaudet aiheuttavat ärsytysoireita, jotka voivat ilmetä esimerkiksi iho- ja limakalvo-oireina, silmäoireina, pienten keuhkoputkien supistumisena, ja aistihavaintoon perustuvana haju- ja keskushermostoärsytyksenä. Kun sisäilmastossa on samanaikaisesti yleensä sekä ärsytys- että allergiaoireita aiheuttavia epäpuhtauksia, seurauksia on mahdoton päätellä aineiden yksittäisistä vaikutuksista. [1, s. 17–18.][5, s. 102.]

Koneellisen ilmastoinnin yleistyttyä sisäilmasta on tullut entistä ihmisläheisempää ja epäterveellisempää. Joidenkin virusten on havaittu elävän pitempään kosketuspinnolla rakennuksissa, joissa on käytössä koneellinen ilmanvaihto. Tekniikan Maailman artikkelissa ”Sisäilman ja pintojen epäpuhtaudet” kerrotaan, että lukuisat tutkijat ovat vahvistaneet yhteyden hengityselinten sairauksien lisääntymisen ja luonnollisen ilmanvaihdon puuttumisen välillä. Rakennuksissa, joissa ikkunoita pidetään lähes jatkuvasti kiinni, on erityisesti lasten allergiaoireiden todettu lisääntyvän. Ulkoilmassa sijaitsevan terveellisen pieneliöstön tuominen sisäilmaan on kuitenkin merkittävä haaste arkkitehteille. Ratkaisumalleihin kuuluisivat täysin uudenlaiset pohjapiirustukset ja ilmanvaihtojärjestelmät, jotka jättäisivät mahdollisuuden ikkunoiden auki pitämiseksi. Samassa artikkelissa mainitaan tutkimuksista, joissa on todettu, että ilmanvaihdon kaksinkertaistuksessa sisäilman epäpuhtaudet voivat pienentyä jopa 60 %. [5, s. 103.]

Sisäilman muodostaessa ihmisen pitkäaikaisimman ja välittömimmän ympäristön sen huono laatu ja epäpuhtaudet voivat olla syinä monenlaisiin sairauksiin ja niiden oireisiin. Nykyään puhutaan ns. rakennusoireyhtymästä tai aiemmin mainitusta sairas rakennusoireyhtymästä, jonka syyn uskotaan liittyvän vahvasti sisäilman ominaisuuksiin. Rakennusoireyhtymään liittyy allergiatyypisiä tai flunssan kaltaisia oireita, yleisoireita ja epäviihtyvyyttä. Tämä ei kuitenkaan johdu allergisoitumisesta. Tyypillistä oireilua esiintyy erityisesti suurissa rakennuksissa, kuten toimistoissa, kouluissa, ja päiväkodeissa. Kaikissa näissä rakennuksissa on myös koneellinen ilmanvaihto. Tyypillinen rakennusperäinen oire alkaa kehittyä ja pahenee muutama tunti rakennukseen saapumisen jälkeen ja häviää kokonaan tai ainakin lievenee muutamman tunnin päästä, kun rakennuksesta on poistuttu. Maailman terveysjärjestö WHO on määritellyt, että seuraavat oireet kuuluvat tähän ryhmään:

- Nenän, kurkun ja silmien ärsytys
- Kuivat limakalvot
- Ihon punaläikkäisyys
- Henkinen väsymys ja päänsärky
- Hengitystietulehdukset ja yskä
- Käheä ääni
- Erilaiset yliherkkyysoireet
- Pahoinvointi ja huimaus [1, s. 20.][8, s. 5.]

Edellä mainitut oireet voivat olla hyvin tavallisia, ja jopa terveiden rakennusten käyttäjistä 10–20 % on kertonut tuntevansa kyseisiä oireita. WHO on arvioinut, että jopa 30 % uusista rakennuksista olisi tällaisia ongelmarakennuksia. Monissa maissa, mukaan lukien Suomessa, on tutkittu oireilun yhteyttä rakennuksen sisäilmaston muutoksiin. Vielä ei tunneta kaikkia mahdollisia aiheuttajia, eikä mitään yksittäistä, oireilua aiheuttavaa epäpuhtautta ole pystytty osoittamaan. Mahdollisina oireilun aiheuttajina voidaan pitää rakennusmateriaaleista haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, rakennuksen ilmanvaihtoa, rakennuksessa olevia mikrobeja, huoneilman lämpötila-, kosteus- ja ilmanvirtaustekijöitä, melu- ja valaistusolosuhteita, sähkö-

magneettista säteilyä ja ionitasapainoa. Erityisesti työympäristössä korostuu myös psyykkisten tekijöiden merkitys. [1, s. 20.]

Fysiologisten tekijöiden lisäksi ihmisen mielentilaan vaikuttaa moni muukin tekijä, joihin liittyy myös psyykkisiä, sosiologisia ja viihtyvyyteen vaikuttavia seikkoja. Viihtyisien olosuhteiden selvittäminen on kuitenkin aina tapauskohtaista, koska ihmiset ovat yksilöitä, eivätkä kaikki voi viihtyä aina samoissa olosuhteissa. Sisätilojen ja ympäristön olosuhteet tulisikin aina määrittää siten, että suurin osa tuntisi olonsa sopivaksi. On todettu, että aina jää kuitenkin noin 5 %:n osuus tyytymättömiä. Vaatetuksella ja huonekohtaisella ilmastoinnin säätämällä (mikäli mahdollista) voidaan hoitaa tämä niin kutsuttu loppusäättö. [8, s. 5.]

Teollisuusympäristöjen ja ulkoilman tutkimuksiin verrattaessa sisäilmaston terveysvaikutustutkimukset, niin kuin sisäilmatutkimukset yleensä, ovat hyvin vähäisiä. Tutkimustietoa tarvittaisiin lisää epäpuhtauksien riskinarviointia varten esimerkiksi määriteltäessä epäpuhtauksien enimmäispitoisuustasoja. Eniten tietoa tällä hetkellä löytyy yksittäisten ja selkeästi vaikuttavien epäpuhtauksien vaikutuksista ihmiseen, kun taas vähiten tiedetään samanaikaisesti esiintyvien epäpuhtauksien yhteysvaikutuksesta ja epäpuhtauksista, jotka aiheuttavat päänsärkyä, pahoinvointia, väsymystä sekä muita yleisoireita. [1, s. 18.]

2.4 Miten parantaa sisäilman laatua

Homeen, allergeenien, muiden mikrobien sekä kemiallisten epäpuhtauksien poistaminen tai vähentäminen sisäilmasta on kasvava haaste ja kansantaloudellinen menoerä. Sisäilman monimutkainen ekologia alkaa vasta avautua, kun rakennettujen ympäristöjen biologiaa on päästy tarkastelemaan dna-tasolla. Koska jopa puhtain koti on täynnä pieneliöitä, sisäilman parantamiseen tarvittavien ratkaisujen löytämiseksi rakennuksia olisi tarkasteltava monimutkaisina ekosysteemeinä, joissa asustaa miljardeja mikrobeja (Kuutiometrissä sisäilmaa on noin 10 miljoonaa bakteeria). [5, s. 102.]

Luonto säilyy tasapainossa monipuolisen eliökunnan ansiosta, mutta tätä monimuotoisuutta ei sisätiloissa arvosteta. Mikrobit pyritään tappamaan millä keinoilla tahansa. Usein mikrobien poistamiseksi ja hajujen peittämiseksi käytetään aineita, jotka sisältävät terveydelle haitallisia yhdisteitä. Rakennuksissa pyritään säätämään kaikkien huoneiden lämpötila, ilmanvaihto ja ilmankosteus tasalaatuisiksi. Kuitenkin teoreettinen ekologi Jessica Green uskoo,

että parempi ratkaisu saattaisi olla monipuolisen ekosysteemin pitäminen myös sisätiloissa. Tavoitteena olisi tietenkin, että harmittomien ja hyödyllisten pieneliöiden määrä olisi suurempi kuin taudinaiheuttajien määrä. [5, s. 102.]

Hyvä sisäilmasto on yksi rakentamisen tärkeimpiä tavoitteita. Sisäilmaston lopulliseen laatuun vaikuttaa monta tekijää, kuten lämmitys-, ilmanvaihto- ja ilmastointilaitteet, rakennustekniikka, rakennustöiden suorittaminen ja käytetyt materiaalit sekä tietenkin rakennuksen käyttö ja kunnossapito. Hyvän sisäilmaston saavuttamiseksi edellytetään esitettyjen asioiden huomioonottamista suunnittelun, rakentamisen ja käytön kaikissa vaiheissa. [9, s. 2.]

Hyvän sisäilmaston saavuttaminen edellyttää pitkäjänteisyyttä ja tavoitteellista toimintaa, tavoitteiden asettamisesta ja rakennuksen suunnittelusta rakentamiseen, lopputarkastukseen ja käyttöön. Sisäilmaan tulee epäpuhtauksia, hiukkasia ja kaasumaisia aineita sisältä ja ulkoa. Rakennustarvikkeiden valinnalla, siivottavuudella ja pintojen puhdistamisella voidaan vaikuttaa suuresti sisäilman laatuun. Rakennusmateriaalien, kiintokalusteiden ja sisustuksen valinnassa tulisikin kiinnittää huomiota siihen, että pinnat ovat helposti puhdistettavissa. Tärkeää on kuitenkin huomioida myös, mitä puhdistus- ja hoitoaineita käytetään, koska myös ne voivat aiheuttaa sisäilman heikentymistä. Myös rakennus- ja sisustusmateriaaleista vapautuu sisäilmaan erilaisia kemikaaleja. Nämä voivat olla peräisin käytetyistä raaka-aineista, valmistusprosessin virheistä, materiaalin vanhenemisesta tai materiaalin väärästä käytöstä. Kaikkia näistä aiheutuvia sisäilman epäpuhtauspitoisuuksia voidaan alentaa ja torjua kokonaispäästöjä vähentämällä ja/tai ilmanvaihtoa lisäämällä. Tärkeimpänä tavoitteena tulisi tietenkin käyttää niin vähäpäästöisiä tuotteita, että tarvetta ilmanvaihdon tehostamiseen ei synny. [10, s.11–12, 16.]

Kaikkiin sisäilman epäpuhtauksiin kuten pölypunkkeihin, viruksiin ja muihin tautien aiheuttajiin ei pystytä vaikuttamaan rakentamisella. Tästä huolimatta ilman laatua on kuitenkin mahdollista parantaa ilmanpuhdistuslaitteilla sekä nanoteknologiaa hyödyntävillä pinnoitteilla, jotka tekevät materiaaleista itsepuhdistuvia ja jotka poistavat bakteereita ja hajuja. Tehokkaimpien ilmapuhdistuslaitteiden suodatinosa, joka on vaihdettava, on aktiivihiihtä. Joissakin laitteissa ei ole ollenkaan suodattimia, vaan ne käyttävät otsonia tai muita kemikaaleja ilman puhdistamiseen tai sitten ne ovat ionisoivia. Otsoni on kuitenkin haitallista, koska laitteet kuluttavat sähköä ja suodattimet eivät pysty poistamaan hiukkasia kokonaan. [5, s. 108.]

Rakennuksen sisäilmalle on olemassa sisäilmastoluokat, joilla voidaan määritellä vallitsevan sisäilmaston laatu. Sisäilmastoluokitus on kolmitasoinen, ja luokat ovat S1, S2 ja S3. Luokassa S1 sisäilman laatu on paras, mikä merkitsee suurinta tyytyväisten käyttäjien osuutta. Näiden tavoitteiden asettaminen ja soveltaminen sisäilmastolle edesauttaa eri alojen toimijoiden yhteistyötä, joka taas johtaa terveysriskien ja viihtyvyyttä vaarantavien ongelmien vähenemiseen. [9, s. 4.]

Luokka S1. Yksilöllinen sisäilmasto: Huoneiston tai kyseessä olevan tilan sisäilman laatu on hyvä, eikä tiloissa esiinny häiritseviä hajuhaittoja. Tiloissa ja rakenteissa, jotka ovat yhteydessä sisäilmaan, ei ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot tilassa ovat viihtyisät, tilassa ei ole vetoa tai vedontunnetta, eikä ylläampemistä esiinny ja tilan käyttäjä pystyy yksilöllisesti hallitsemaan tilan lämpöoloja. Tiloissa tulee olla niiden käyttötarkoituksen mukaiset erittäin hyvät ääniolosuhteet, ja optimaalisia valaistusolosuhteita tukemaan löytyy yksilöllisesti säädettävä valaistus. [9, s. 4.]

Luokka S2. Hyvä sisäilmasto: Kyseisen tilan sisäilman laatu on hyvä, eikä tiloissa esiinny häiritseviä hajuja. Sisäilman yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei esiinny ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot tilassa ovat hyvät. Vetoa ei tulisi yleensä esiintyä, mutta kesäpäivinä ylläampeminen on mahdollista. Tiloista tulisi löytyä niiden käyttötarkoituksen mukaiset hyvät ääni- ja valaistusolosuhteet. [9, s. 4.]

Luokka S3. Tyydyttävä sisäilmasto: Luokassa S3 tilan sisäilman laatu, lämpöolot sekä valaistus- ja ääniolosuhteet täyttävät rakennusmääräysten vähimmäisvaatimukset. Nykytietämyksen mukaan tämän luokituksen tavoitearvojen toteutuessa terveille henkilöille ei aiheudu terveyshaittoja, jos rakennuksesta löytyy ilmanvaihto, joka toimii suunnitellulla tavalla eikä erityisiä epäpuhtauslähteitä ole. [9, s. 4.]

Sisäilman laadun parantamiseen ja ilman epäpuhtauksien torjumiseen voidaan vaikuttaa merkittävästi erilaisilla keinoilla. Edellä mainitun tekstin perusteella on laadittu eri lähteitä käyttäen seuraava luettelo muistilistaksi rakennuksen käyttäjälle sisäilman laadun parantamista varten.

- Pyritään vähentämään epäpuhtauslähteitä.

- Poistetaan epäpuhtauslähteet tai vaihdetaan materiaali tai laite sellaiseen, että epäpuhtauksien tuotto jää vähäisemmäksi tai ainakin sen synnyttämät epäpuhtaudet ovat vähemmän haitalliset.
- Käytetään vähäpäästöisiä ja pölyämättömiä sisustusmateriaaleja.
- Käytetään ilmanpuhdistimia.
- Eristetään epäpuhtauslähteet.
 - Eristetään epäpuhtaus omaan huoneeseen, esimerkiksi kopiohuoneeseen tai tupakointitilaan.
 - Eristetään epäpuhtaus omaan koteloon tai kaappiin ja varustetaan kyseinen tila omalla poistoilmanvaihdoilla.
- Estetään epäpuhtauden leviäminen.
 - Käytetään paikallispoistoja, esimerkiksi keittiön liesikupua.
 - Pidetään yllä oikeat huoneiden väliset paine-erot.
 - Asennetaan ulkoilmasuodattimet vähentämään epäpuhtauksien leviämistä sisäilmaan.
 - Vältetään tupakointia sisätiloissa.
- Järjestetään ilmanjako tehokkaaksi.
 - Epäpuhtaudet poistetaan nopeasti ja tehokkaasti poistoilman mukana.
 - Huolehditaan, että ilmanvaihto on riittävä.
 - Sisäovien aukipitäminen tehostaa ilmanvaihtoa.
 - Tuletaan ristivedolla jos mahdollista.
- Huolehditaan tuloilman puhtaudesta.
 - Huollatetaan ilmastointilaitteet säännöllisesti.
 - Järjestetään paikallinen raikkaan tuloilman tuonti.
 - Laimennetaan epäpuhtauksia puhtaalla tuloilmalla.
- Siivotaan viikoittain.
 - Käytetään pölyämättömiä materiaaleja.

- Muistetaan puhdistaa korkeat pinnat.
- Estetään vesivahingot ja kosteusvauriot ennalta.
 - Vältetään vesilukkojen kuivumista.

[2.] [1, s. 121, s. 125–126.][10, s. 12.]

2.5 Sisäilman ja sen laadun tärkeimmät tekijät

Sisäilma ja sen laatu alkavat muodostua jo rakennuksen valmistusvaiheessa. Sisäilman koostumukseen vaikuttavat mm. ilmanvaihtotapa, ilmanjakotapa, ulkoilmasta ja ihmisen mukana kulkeutuvat epäpuhtaudet sekä käytetyt rakenteet ja materiaalit. Ihminen pystyy teoillaan vaikuttamaan sisäilman puhtauteen tehokkaasti. Mikäli puhtaasta sisäilmasta ei huolehdi, vaikutukset elinympäristöön voivat olla hyvinkin vakavat. Huono sisäilma saattaa aiheuttaa vakavaa oireilua ja sairastelua. Hyvä ja terveellinen sisäilma on tärkeä tekijä ihmisen asuinympäristössä.

Sisäilman laatuun ja viihtyvyyteen vaikuttavat pääsääntöisesti rakennuksen materiaalien kaasumaiset ja hiukkasmaiset päästöt, rakennuksen kosteusvauriot ja niiden aiheuttama mikrobikasvusto sekä home- ja laho-ongelmat. Sisäilman epäpuhtaudet voivat aiheuttaa ihmisille monenlaisia terveyshaittoja, esimerkiksi ärsytys- ja epäviihtyvyysoireita ja jopa vakavia sairauksia. Monet epäpuhtaudet aiheuttavat ärsytysoireita, jotka ilmenevät terveyshaittoina hengitysteiden limakalvoilla, keuhkoputkissa, veressä, keskushermostossa, iholla ja silmissä. Sisäilmaston lopulliseen laatuun vaikuttaa monta tekijää, kuten lämmitys-, ilmanvaihto- ja ilmastointilaitteet, rakennustekniikka, rakennustöiden suorittaminen ja käytetyt materiaalit sekä tietenkin rakennuksen käyttö ja kunnossapito. Hyvän sisäilmaston saavuttamiseksi edellytetään esitettyjen asioiden huomioonottamista suunnittelun, rakentamisen ja käytön kaikissa vaiheissa [1, s. 16.][5, s. 102.][9, s. 2.]

Sisäilman ja sen laatuun vaikuttavien tekijöiden tutkimusten jatkaminen on erityisen tärkeää, koska sisäilman tutkimuksia on tehty aivan liian vähän verrattuna ulkoilmaa ja teollisuusympäristöä koskeviin tutkimuksiin. [1, s. 18.]

3 ILMASTOINTI

Ilmastointi tarkoittaa huoneilman puhtauden, lämpötilan, kosteuden, viihtyvyyden ja ilman liikkeiden hallintaa tulo- ja poistoilmajärjestelmiä hyväksi käyttäen. Ilmastointi on useimmiten teknisesti paljon monipuolisempi prosessi kuin ilmanvaihto, joka on ilmastointia huomattavasti suppeampi käsite. Sen tarkoitus on yleensä vain epäpuhtauksien poistaminen. Ilmanvaihto tarkoittaa myös yleisesti huoneilman laadun ylläpitämistä sekä ilman laadun parantamista huoneen ilmaa vaihtamalla. Joskus pelkällä ilmanvaihdolla onnistutaan rajoittamaan lämpötilan ja kosteuden nousua. [8, s. 5.][11, s. 39.]

Ilmastoinnin päätavoite on ylläpitää sisätiloissa hyvää, tilojen käyttötarkoitusta vastaavaa sisäilmastoa koko rakennuksen käyttöiän ajan. Ilmanvaihto on mahdollista toteuttaa joko koneellisesti tai painovoimaisesti. Koneellisella tulo- ja poistoilmavaihdolla saadaan helpommin varmistettua, että jokaiseen huoneeseen riittävä ilmanvaihto. Näihin kuuluu tietysti myös lämmöntalteenotto ja tuloilman suodatus. Laitteiden säännöllisellä huollolla ja suunnitelmien mukaisella käytöllä saadaan toteutettua hyvä ja riittävä ilmanvaihto. [1, s. 119.]

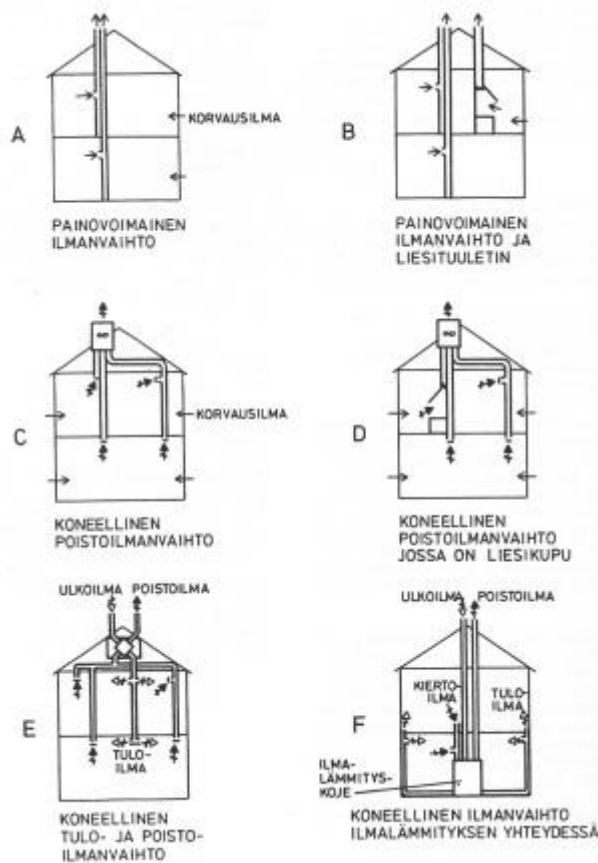
Ilmanvaihtojärjestelmän tarkoitus on poistaa ilmassa olevat ja syntyvät epäpuhtauden ja tuoda ulkoa puhdasta ilmaa korvausilmaksi. Yleisin ilmanvaihdon järjestäminen tapahtuu siten, että ulkoa tuotava tuloilma tuodaan asuinrakennuksen oleskelutiloihin, millä käsitetään yleensä makuu- ja olohuoneet. Ilma poistetaan ns. likaisista tiloista, joita ovat keittiöt, vessat, pesu- ja kylpyhuoneet ja vaatehuoneet, poistopuolen avulla. Lyhyesti sanottuna ilma siis virtaa puhtaista tiloista likaisiin tiloihin. Ilmastoinnilla voidaan hallita ilmanvaihdon lisäksi myös ilman lämpötilaa, kosteutta ja puhtautta. [1, s. 119.]

Ilmanvaihdon tarve määräytyy ensisijaisesti tilassa olevien tupakansavun sekä aineenvaihdunnan erittymistuotteiden mukaan ja vasta sen jälkeen rakennus- ja sisustusmateriaalien emissioiden, jäähtymisen tarpeen ja hiilidioksidin tai hapen pitoisuuden mukaan tilassa. Tyydyttävä määrä ulkoilmaa sisäilmassa, joka takaa riittävän puhtauden on $10 \text{ dm}^3/\text{s}$ per henkilö, tiloissa joissa tupakointi on sallittu ja $4 \text{ dm}^3/\text{s}$ tupakoimattomissa tiloissa, kuitenkin normaalikorkuisten huonetilojen ilmanvaihdon ollessa vähintään $0,5 \text{ l/h}$. [11, s. 14.]

Hyvä ilmanvaihtojärjestelmä, oli se sitten koneellinen tai painovoimainen, tuo riittävästi puhdasta ja raikasta ilmaa kaikkien tilojen oleskeluvyöhykkeille. Samalla se poistaa epäpuhtaudet niiden syntysijoilla esimerkiksi kohdepoisto keittiössä liesikuvun avulla.[1, s. 121.]

3.1 Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmät

Rakennusten ja kiinteistöjen ilmanvaihdon toteuttamiseen on karkeasti ajateltuna kaksi eri mahdollisuutta; koneellinen tai painovoimainen ilmanvaihto. Kuvassa 1 esitellään erilaisia toteuttamistapoja. Ainakin vielä 1990-luvulla painovoimainen ilmanvaihto oli näistä kahdesta yleisempi tämän toteutustavan ollessa varmasti halvempi. Asunnot olivat 1960-luvulle asti varustettu lähestulkoon aina painovoimaisella ilmanvaihdolla. Siitä eteenpäin on asuinkerrostalot alettu rakentamaan koneellisella poistoilmavaihdolla. Koneellinen poistoilmavaihto alkoi yleistyä laajemmin 1980-luvulla ja 1990-luvulla noin puolet pientaloista varustettiin koneellisella tulo- ja poistoilmavaihdolla. Toimistorakennuksissa kyseinen järjestelmä tehtiin jo 1960-luvulla. [1, s. 122.]



Kuva 1. Erilaisia ilmanvaihtojärjestelmiä.

Ilmastointijärjestelmästä riippumatta ilmastointilaitteiden peruskomponentit ovat samanlaisia. Keskuskoneen tehtävä on käsitellä ja saada haluttu ilma tietynlaisena ja tiettyyn tilaan. Koneet ovat pääasiassa tehdasvalmisteisia ja valmiista osista koottavia. Tilanteesta riippuen kaikki osat eivät tietenkään ole aina tarpeellisia. Tehdasvalmisteiset koneet, jotka on koteloitu

moduulimittaisena, on kuitenkin helppo koota käyttäjän tarpeiden mukaan. Koneet, jotka ovat pienempiä ja sisältävät vähemmän toimintoja, kootaan yleensä valmiiksi jo tehtaalla. Ilmastointikoneita koottaessa, ulkoilma-aukkojen sijoitus tulee valita niin, että niihin virtaava ulkoilma olisi niin puhdasta kuin mahdollista. Aukkoja valittaessa on otettava huomioon paikalliset olosuhteet ja ilman epäpuhtauslähteet. [1, s. 129.]

Ilmanvaihtokanavisto koostuu suorista kanavista, erilaisista muunnos- ja muotokappaleista, pääte-elimistä, säätö- ja palopelleistä ynnä muista erilaisista varusteista. Ilmastointikanavat rakennetaan pääasiassa sinkitystä teräslevystä (joissakin rakennuksissa on käytetty myös allergiaystävällisestä muovista valmistettua kanavaa). Ilmastointikanavat ovat pääasiassa pyöreitä tai suorakaiteen muotoisia ja jonkin verran on käytetty myös ns. soikio- tai ovaalikanavia. Vanhemmat, erityisesti painovoimaisessa ilmastoinnissa käytetyt, kanavaratkaisut voivat olla myös rakenneaineisia eli ne ovat valmistettu betonista ja tiilestä. Kanavistojen rakenteeseen vaikuttavat erilaiset määräykset, joilla on pyritty turvaamaan mm. paloturvallisuus, hygienia ja laitoksen toimivuus. [1, s. 129.][11, s. 89.]

Ilmastointijärjestelmä tarkoittaa kokonaisuutta, jonka muodostavat tulo- ja poistoilmakoneet, tulo- ja poistoilmakanavistot sekä huoneyksiköt mukaan lukien näiden käsittely-yksiköt säätöjärjestelmineen. Huoneyksiköillä tarkoitetaan yleensä tulo- ja poistoilmaventtiilejä. Yleisin ilmastointijärjestelmien luokittelu perustuu siihen, miten jäähdytys ja/tai lämmitysteho tuodaan huoneeseen esimerkiksi ilman tai veden avulla. Tärkeimmät ilmastointijärjestelmät voidaan luokitella seuraavalla tavalla:

- Yksivöhykejärjestelmä
- Monivöhykejärjestelmä
- Jälkilämmitysjärjestelmä
- Ilmamääräsäätöinen järjestelmä
- Kaksikanavajärjestelmä
- Suutinkonvektori-järjestelmä
- Puhallinkonvektroijärjestelmä

- Ilmastointipalkkijärjestelmä [1, s. 125.][11, s. 39–40.]

3.1.1 Painovoimainen ilmanvaihto

Painovoimainen ilmanvaihto perustuu paine-eroihin sisä- ja ulkoilman välillä, joihin vaikuttavat lämpötila ja tuuli. Painovoimaisen ilmanvaihdon ilmavirrat vaihtelevat sääolosuhteiden vaihtelujen mukaan talvella ilmavirtojen ollessa suurimmillaan ja kesällä niiden ollessa lähes olemattomat. Yksi painovoimaisen ilmastoinnin toimivuuden edellytys onkin se, että rakennuksen ei tule olla liian tiivis. Kyseisessä järjestelmässä jokaisesta poistoilmaventtiilistä tulee johtaa oma hormi vesikaton yläpuolelle, eikä näitä hormoneja saa yhdistää, koska hormoneja yhdistellessä on vaarana, että ilma siirtyy vain huoneistosta toiseen. Tämä ei ole myöskään hyväksyttävää asumishygienian tai paloturvallisuuden kannalta. Ilman liikkeen aiheuttaman paine-eron ollessa pieni painovoimaisessa hormissa ei hormiin voi tämän takia tehdä mutkia eikä pitkiä vaakasuoria siirtymiä, jotka rajoitetaan yleensä alle metrin mittaiseksi. Painovoimaiseen ilmanvaihtojärjestelmään voidaan lisätä erillinen liesituuletin. Painovoimaisessa järjestelmässä ilmanvaihdon hormit pyritään asentamaan samaan pisteeseen rakennuksessa. Tällä pyritään pitämään välipohjien ja vesikaton läpäisyt mahdollisimman vähäisinä. Tämä vaatii tietenkin, että tilat, jotka vaativat poistoilmahormia (WC, keittiö, kylpyhuone), keskitetään, jotta venttiilit voidaan liittää samaan hormiryhmään ilman liian pitkiä hormien vaakavetoja. [1, s. 123.][4, s. 209.]

Rakennuksen, joka on varustettu painovoimaisella ilmanvaihdolla, ilmanvaihto riippuu oleellisesti sääolosuhteista. Painovoimaisen ilmanvaihdon ongelmaksi muodostuu usein se, ettei hormissa virtaa ilmaa johtuen siitä että ulko- ja sisäilman lämpötilaero on pieni, eikä ulkona tuule. Näihin tekijöihin vaikuttaa oleellisesti rakennuksen sijainti, maaston peitteisyys, viereiset rakennukset ja maaston korkeus. Jos ilmanvaihdon tehostaminen ikkunatuuletuksella ei ole mahdollista kaikissa tuloissa, tuulen ja lämpötilaerojen ollessa pieni, on ilmanvaihto vaarassa jäädä liian pieneksi ja varsinkin kesällä kosteus voi nousta liian korkeaksi. Tämä saattaa aiheuttaa rakenteiden ja sisustusmateriaalien homehtumista sekä lahoamista. Vaarana on myös, että ilma virtaa väärään suuntaan painovoimaisessa hormissa ja aiheuttaa hygieenisiiä haittoja, jotka lisäävät muita huonosta sisäilmasta ja sen epäpuhtauksista johtuvia oireita. [1, s. 123.][4, s. 210.]

Rakennusten poistoilmahormit on mitoitettu niin, että niiden kautta liikkuva ilmavirta vastaa ilmanvaihtoa 0,5 l/h vuoden keskimääräisissä sääolosuhteissa. Tuulen vaikutus kokonaisilmanvaihdossa alkaa vasta silloin, kun sen nopeus on yli 5 m/s. Näin kova tuuli esiintyy vain 10-30 % ajasta paikoilla, jotka ovat avoimessa maastossa. Tuulella on suhteellisen pieni vaikutus hormien kautta tapahtuvaan poistoon. Jos tuuli on kova, ilmanvaihto muuttuu avoimessa maastossa moninkertaiseksi suunnitteluarvoihin verrattuna ja aiheuttaa rakennuksessa hallitsematonta lävitsevuotoa. Tämä taas johtaa suuriin lämpötilaeroihin rakennuksen eri julkisivujen välillä. [4, s. 210.]

3.1.2 Koneellinen poistoilmanvaihto

Koneellinen poistoilmanvaihto on yleisin ilmanvaihtojärjestelmä, jota käytetään asuinkerrostaloissa. Ainoastaan poistoilmahormit on asennettu rakennukseen ja poistoilmaventtiilien sijoituspaikat ovat samat kuin painovoimaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä (WC, keittiö, kylpyhuone). Ero painovoimaiseen järjestelmään on se, että poistoilmavirtausta on tehostettu poistopuhaltimen avulla, joka tarkoittaa yleensä huippuimurin sijoittamista rakennuksen katolle. Huippuimurit ovat rakenteellisesti yksinkertaisia ja eivät vaadi paljon huoltamista. Jos puhaltimen siipipyörä on asennettu suoraan moottorin akselille, ei huollettavia kiilahihnoja tarvitse käyttää. Poistohormit viedään erillisinä ullakolle asti, jossa ne yhdistetään kokoojakammion välityksellä huippuimuriin. Yleensä päällekkäin olevat tilat kuitenkin liitetään samaan pystykanavaan. Tällaista kutsutaan ns. yhteiskanavajärjestelmäksi, jossa samaan pystyhormiin kytkettyjen tilojen poistoilmaventtiilien tulee olla painehäviöltään suuria ja soveltua palon rajoittimiksi. [1, s. 123.][4, s. 215.][11, s. 88.]

Puhaltimien avulla ilmavirtaus venttiileissä saadaan vakioksi. Sääolosuhteilla ei ole mainittavaa vaikutusta virtaukseen koneellisessa poistossa. Koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä poistokanavat on mitoitettu suuremmille nopeuksille kuin painovoimaisessa ilmanvaihdossa, minkä vuoksi ne vievät vähemmän tilaa ja eri huoneiden poistokanavien yhdistäminen vähentää myös tilan tarvetta. [1, s. 123.][4, s. 215.]

Poistoilmapuhaltimina käytetään huippuimureiden lisäksi myös keskipakois- ja aksaalipuhaltimia. Koneelliseen poistoilmanvaihtojärjestelmään voidaan liittää lämmöntalteenotto koamalla rakennuksen poistoilma yhteen tai muutamaaan pisteeseen. Tämä voidaan toteuttaa sijoittamalla poistoilmavirtaan lämmön talteenottopatteri. Koneellisen poiston järjestelmään

on mahdollista liittää myös liesikupu, jonka kautta kulkevia ilmavirtoja voidaan tehostaa muuttamalla liesikuvussa sijaitsevan poistoaukon suuruutta. Jos liesikupu on yhdistetty koneelliseen poistoon, ei liesikuvussa saa olla omaa puhallinta. Liesikuvun avulla on mahdollista ohjata rakennuksen poistoilmapuhaltimena toimivan huippuimurin tehokkuutta. [1, s. 123–124.][4, s. 215.][11, s. 88.]

Koneellisen poiston järjestelmästä löytyy sama heikkous kuin painovoimaisesta järjestelmästä, eli tuloilma otetaan suoraan ulkoilmasta, esimerkiksi rakennuksen vaipan läpi suoraan huonetilaan tai kanavalla johdettuna kauempana ulkoseinästä. Ulkoilman sisäänottoon on olemassa erilaisia toteutustapoja. Ulkoilman hallitulla sisäänotolla on tarkoitus tuoda ulkoilma viihtyisästi oikeisiin huoneisiin sopivana tilavuusvirtana. Tällä menetelmällä on siis tarkoitus hallita rakennuksen puhtaan ilman virtauksia. Suurimpina ongelmia ulkoilman sisäänotossa ovat ilman epätasainen jakaantuminen huoneisiin, vetohaitat, mitoituksen perusteiden puuttuminen, ja sääolojen vaikutus ulkoa tuleviin ilmavirtoihin. Näitä ongelmia pyritään korjaamaan käyttämällä mitoitettuja virtausesteitä, kuten venttiileitä tai puiterakoja ja sisäänottoelimä. [4, s. 215.][11, s. 123.]

3.1.3 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto

Kun tuloilma johdetaan rakennukseen koneellisesti ja korvausilman tarvetta ei ole, voidaan rakennuksen vaippa rakentaa tiiviiksi. Tällä keinolla saadaan myös jokaiseen huoneeseen haluttu ilmavirta ja ilmanvaihto. Tuloilman tehtävä onkin käsitellä ulkoa saatu ilma haluttuun oleskelutilaan ja antaa sille ilmanjakelun edellyttämä nopeus ja paine. Tuloilma on kannattavinta johtaa makuu- ja olohuoneisiin ja poistoilma kannattaa johtaa kuten pelkässä poistoilmanvaihtojärjestelmässäkin, eli WC:stä, kylpyhuoneesta, vaatehuoneesta ja keittiöstä. Tuloilmaa ei johdeta sisälle ulkoilman lämpötilassa, vaan se lämmitetään ennen johtamista oleskelutiloihin. Oikealla lämmöntalteenottolaitteella tuloilmaa voidaan lämmittää usein riittävästi, eikä jälkilämmityspatteria ole aina tarpeellista käyttää. [1, s. 124.][11, s. 53.]

Kun rakennuksessa on käytössä koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä, voidaan asuinkerrostalon huoneistojen ilmanvaihto toteuttaa joko asuntokohtaisilla tai rakennuskohdaisilla laitteilla. Asuntokohtaisia laitteita käytettäessä jokaisessa asunnossa on oma ilmastointikone, jota asukas käyttää ja säätää oman tarpeensa mukaan. Jokaiseen koneeseen kuuluu puhaltimet, lämmöntalteenottolaite, suodattimet ja säätölaitteet. Keskitettyjä tilavarauksia ei

tässä tilanteessa tarvita. Ulkoilma voidaan ottaa koneeseen seinän läpi ja johtaa yhteisessä hormitilassa vesikatolle. Voidaankin todeta, että koneellisen tuloilman etuna on mahdollisuus ulkoilman tehokkaaseen suodattukseen ja lämmöntalteenotto poistoilmasta. [1, s. 124.]

Tulo- ja poistoilmakoneissa on useita erilaisia osia, joiden tyyppi ja lukumäärä vaihtelevat kulloisenkin tarvevaatimuksen mukaan. Koneet voivat olla valmiiksi tehtaalla kasattuja ja toimitetaan työmaalle koottuina tai ne voidaan kasata moduulimittaisista osista paikan päällä. Tulo- ja poistoilmakoneiden tavallisimpia osia ovat:

- ulkoilmasäleikkö
- ulkoilmapelti
- sekoitusosa
- palautusilmapelti
- suodatin
- lämmöntalteenottolaite
- esilämmityspatteri
- kostutin
- jäähdytyspatteri
- jälkilämmityspatteri
- puhallin
- äänenvaimennin
- automatiikka
- tarvittavat putkikytkennät.

Aina ei tietenkään kaikkia osia tarvita, vaan niitä käytetään kulloisenkin tilanteen mukaan. [11, s. 53.]

Tuloilmakoneiden vaippojen tulisi olla tiiviitä. Virtaussuunnassa ennen puhallinta olevat vuodot aiheuttavat käsittelemättömän ja todennäköisesti epäpuhtaan ilman sekoittumisen tuloilmaan. Vuodot, jotka taas tulevat puhaltimen jälkeen, vähentävät huonetiloihin menevää ilmamäärää. Tilassa, jonne ilmastointikoneet on sijoitettu, tulisi olla viemäröinti ja lattian pitää olla vesieristetty, koska vuodot ja jopa jäätymisvauriot ovat koneissa mahdollisia ja viemäröinti mahdollistaa vesien hallittu poistuminen ja estetään mahdolliset laajemmat vahingot. [11, s.53.]

Ilmalämmitysjärjestelmä on lämmitysjärjestelmä, johon on yhdistetty tulo- ja poistoilmanvaihto. Lämpö johdetaan tarvittavaan huonetilaan lämmitetyn ilman välityksellä. Suurin osa tästä ilmasta kierrätetään takaisin ilmalämmityskoneeseen ja vain osa johdetaan ilmanvaihtoilmana ulos poistoaukkojen kautta. Koska ilmaa kierrätetään, ilmalämmitysjärjestelmää voidaan käyttää vain huonekohtaisesti, johtuen hygieenisistä ja paloturvallisuussyistä. Ilmalämmitysjärjestelmää on kokeiltu myös kerrostalorakennuksissa, mutta sen käyttö ei ole levinnyt laajalle. [1, s. 125.][4, s. 217.]

Ilmanvaihtokanavistoihin kuuluu erilaisia varusteita, joilla varmistetaan ilmanvaihdon toimivuus ja turvallisuus. Tällaisia osia ovat:

- Säätöpeltien avulla ilmavirrat säädetään suunnitelmien mukaisiksi eri kanavahaaroissa ja huonetiloissa.
- Palonrajoittimen tarkoituksena on tulipalon leviämisen estäminen paloalueelta toiselle.
- Tarkastus- ja puhdistusluukku on kanavaan asennettu luukku, jonka kautta kanavisto voidaan puhdistaa ja laitteet tarkastaa ja huoltaa.
- Moottoripellin tehtävänä on sulkea tai avata luukku jossain kanaviston osassa muun kanaviston ollessa käytössä.
- Ääniloukku tai äänenvaimennin, jonka tehtävänä on estää puhallinmelu tai virtausäänten pääsy huonetilaan. [11, s. 93–94.]

3.1.4 Lämmöntalteenotto

Lämmöntalteenoton avulla on mahdollista käyttää huomattava osa poistoilman lämpöenergiasta uudelleen, jopa 50–80 %. Rakennuksissa poistoilman energiaa käytetään yleensä tuloilman lämmitystä varten. Mitä suurempi on lämpötilaero lämpöä luovuttavan ja vastaanottavan virran välillä, sitä tehokkaampaa on lämmönsiirto. Tästä johtuen edullinen poistoilman lämmön käyttökohde on ilmanvaihtoilman lämmittäminen. [1, s. 130.][4, s. 285.]

Lämmön siirtyessä suoraan ilmavirtoja erottavan levyn välitse on lämmönsiirtimen tyyppi rekuperatiivinen. Kun lämpöenergiaa taas varastoidaan johonkin aineeseen, joka lämpenee ja jäähtyy ilmavirrassa, on kyseessä regeneratiivinen lämmönsiirrin. Ilmavirta voi mahdollisesti olla myös suorassa kosketuksessa lämpöä välittävään veteen, jolloin kyseessä on märkä lämmönsiirto. Lämmöntalteenoton yleisimmät tekniset ratkaisut ovat:

- patteri-patteri –järjestelmä
- pyörivä talteenottokenno
- levylämmönsiirrin

[4, s. 285.][8, s. 42.][11, s. 63]

Lämmöntalteenottolaitteen tehokkuuden mittaaminen voidaan tehdä lämpötilahyötysuhteella, joka määritellään seuraavasti: $LH = T_2 - T_1 / T_3 - T_1$, jossa

LH = Lämpötilahyötysuhde

T_1 = Ulkoa tulevan ilman lämpötila

T_2 = Sisälle siirtyvän ilman lämpötila

T_3 = Sisältä lähtevän ilman lämpötila

[11, s. 63.]

3.1.5 Suodattimet

Suodattimilla poistetaan haitallisia epäpuhtauksia ulko- ja kiertoilmasta kunkin tarkoituksen vaatimalla tavalla. Yleensä tarkoituksena on poistaa hiukkasmaiset epäpuhtaudet ja joissakin harvinaisissa tapauksissa tarkoitus on poistaa kaasumaisia epäpuhtauksia. Suodatuksen vaatimustaso määräytyy terveyden, turvallisuuden, siisteyden, laitteiden toiminnan, kulumisen tai tuotteiden pilaantumisen mukaan, kun taas terveydelliset vaatimukset yleensä kohdistuvat kiertoilmana käytettävään poistoilmaan. Kun ilmaa kierrätetään, tuloilman pitoisuuden tulee olla huomattavasti alle haitalliseksi tunnettujen pitoisuuksien. Suositeltavaa on, että tuloilman pitoisuus ei ole yli 1/10 haitalliseksi tunnetuista pitoisuuksista huoneissa, joissa epäpuhtautta syntyy. Jos ilmaa kierrätetään myös muiden tilojen tuloilmaksi, tulee näissä pitoisuuksissa olla tuloilmassa alle 1/20 haitalliseksi tunnetuista pitoisuuksista. [1, s. 130.][4, s. 264.][11, s. 59.]

Suodattamisella pyritään estämään ilmastointipattereiden ja ilmastointikanavien likaantuminen, koska pöly tukkii helposti ilmastointilaitteet sekä pienentää niiden tehoa ja rakennuksen kokonaisilmavirtaa. Tehokkaalla ulko- ja tuloilman suodatuksella voidaan oleellisesti pidentää tarvittavaa ilmastoinnin puhdistusväliä. Kun vanhoja suodattimia vaihdetaan uusiin, ei suodatuksen alkuperäistä tasoa tule heikentää, koska se lisää lian kulkeutumista tuloilmakoneeseen, kanavistoon ja sisätiloihin. Hyvän suodatustulon saavuttamiseksi edellytetään kaksipor- taista suodatusta: karkeasuodatin ennen ilmastointikonetta ja hienosuodatin koneen jälkeen. Suodattimen likaantumista voidaan seurata paine-eromittarin tai tummuvan suodatinvärin avulla. Tuloilman puhtauden ja ilmastointikanavien likaantumisen eston kannalta suodattimien ja ilmastointikoneen välisen rungon välisten vuotojen estäminen ja suodatinmateriaalin ehjänä säilyminen on tärkeää. Kosteuden tiivistyminen suodattimeen ja suodattimen kastu- mista tulisi ehdottomasti välttää, sillä kostuessaan suodatin tarjoaa hyvän kasvualusta mikro- beille. [1, s. 130, 132.][4, s. 265.][11, s. 59, 62.]

Suodattimien päätyyppejä ovat:

Karkeasuodattimet ovat yleensä tasomaisia tai poimutettuja, jotka ovat kuitumaisesta aineesta muotoon puristettuja. Suodattimen voi pestä, jos kuidut ovat metallilankaa, koska kuidut ovat paksuja. Suodattimia voi käsitellä hiukkasten kiinnittymistä ja kiinni pysymistä lisäävillä aineilla. Ilman nopeus on tässä suodatinmateriaalissa suhteellisen suuri (0,5-2 m/s). [1, s. 131.]

Hienosuodattimet ovat pussimaisia kuitusuodattimia. Materiaalin tulee olla riittävän luja kuitumateriaalia, minkä halkaisija on muutaman mikrometrin luokkaa ja kuitujen välimatka noin 10 µm. Erotusaste määräytyy ilman virtausnopeuden, materiaalin tiukkuuden ja kuidun paksuuden mukaan. Hienosuodattimet voivat olla myös sähköstaattisia suodattimia eli elektreettisuodattimia. [1, s. 131.]

Sähkösuodattimet vaativat toimiakseen tasaisen ilman virtausnopeuden, jäätyksen estämisen ja säännöllisen puhdistuksen. [1, s. 131.]

3.2 Ilmastointilaitteiden huolto ja puhdistus

Hyvän sisäilmaston saavuttamiseksi on tärkeää, että rakennusta ja sen taloteknisiä järjestelmiä käytetään ja huolletaan oikein. Ilmastointilaitteet tulisi huoltaa ja niiden toimintakyky pitää tarkistaa säännöllisesti. Asunnoissa koneellinen ilmanvaihto on oltava käynnissä jatkuvasti, jotta sisäilman epäpuhtaudet voidaan poistaa tehokkaasti. Ilmastointilaitteet voivat toimia myös pienemmällä teholla, jos laitteistoon on asennettu esimerkiksi mittari. Tällöin mittari mittaa jatkuvasti ilman hiilidioksidiarvoja ja toimii aina tarvittavalla teholla. Energiansäästö ilmanvaihdon ja sisäilman kustannuksella ei kuitenkaan ole hyväksyttävää. On tärkeää, että rakennus otetaan käyttöön vasta, kun sen LVI-tekniiset säädöt ovat valmiit. Ilmanvaihdon oikean toiminnan kannalta on tärkeää, että ilmanvaihtokanavisto on säädetty eli tasapainotettu suunnitelmien mukaan. Asukkaiden tai käyttäjien ei koskaan tulisi itse säätää tai tukkia venttiilejä, koska tämä vaikuttaa aina koko rakennuksen ilmanvaihdon toimintaan. Poistoilmaventtiilit asukas voi silti itse puhdistaa pari kertaa vuodessa pyyhkimällä tai pesemällä sekä liesituulettimen rasvasuodattimen asukas voi puhdistaa muutaman kerran vuodessa. Huoltohenkilöstön tulisi tarkkailla kaikkien osien kuntoa ja toimintaa sekä niitä tulee huoltaa säännöllisesti laitteiden toiminnan kannalta. [1, s. 133–134.]

Ilmastointikoneiden suodattimien vaihto tulee suorittaa säännöllisin väliajoin. Suodatin tulee vaihtaa, kun sen takapinnasta yli puolet on pölyn tummentama, eli noin 2 kertaa vuodessa, suodattimesta riippuen. Suodattimen ja puhaltimen välisen ilmastointikoneen alipaineisen rungon tulee olla tiivis, ettei tuloilmaan pääse epäpuhtauksia vuotoilman kautta. Suodattimen hajupäästöt kasvavat sen läpi kulkeneen ilmapirran mukana. Haisevat karkeat hiukkaset on mahdollista erottaa karkealla esisuodattimella, jolla voidaan myös pidentää hienosuodattimen vaihtoväliä. Jos esisuodatinta käytetään, se tulee vaihtaa kolmen kuukauden välein. Puutteit-

siin tuloilman suodatuksessa viittaa esimerkiksi hienopöly, alle yhden mikrometrin kokoisten hiukkasten korkea osuus kokonaispölyssä ja polysyklisen aromaattisten hiilivetyjen, PAH-aineiden, ulkoilmaan nähden suuri osuus. [1, s. 134, 137.]

Ilmanvaihtojärjestelmille voidaan suorittaa myös kuntoarvio. Kuntoarviossa verrataan ilmanvaihtojärjestelmän eri osien ja koneiden käyttöikää tavoitteellisiin käyttöikiin. Seikkoja, jotka voivat viitata ilmastointijärjestelmän huollon tarpeeseen:

- huono sisäilman laatu
- sisäpintojen runsas pölyn muodostus
- asukkaiden jatkuva oireilu
- lattioiden kylmyys
- vetoisuus
- ilmanvaihtojärjestelmän äänihaitat
- märkätilojen pintojen hidas kuivuminen
- päätelaitteiden vuotojäljet
- puutteellisen ilmanvaihdon aiheuttama home
- ikkunoiden huurtuminen
- hajujen kulkeutuminen huoneistoon kanavien tai porraskäytävän kautta
- sisäilman kosteuden kulkeutuminen yläpohjaan, yläpohjan ontelotilaan tai ullakkotilaan
- riittämätön ja hallitsematon korvausilman saanti
- suuri lämpöenergian kulutus

[12, s. 4]

Sisäilmaston laatu voitaisiin ilmaista esimerkiksi sisälämpötilan, ilmanpuhtauden, vetoisuuden ja pintalämpötilan, suhteellisen kosteuden, melun, paineolosuhteiden sekä valaistuksen yhteisenä kirjattuna laatuna. Näille tekijöille määriteltäisiin ylä- ja alaraja ja sovittu tuote tulisi pitää näiden raja-arvojen sisällä kiinteistöhoidollisin toimenpitein sisäilmastoon liittyvissä laitteissa. Tähän voisi vielä liittää ajanjakson, jonka kuluessa tuote toteutuu tai vaihtelut ovat sallittuja. [11, s. 33.]

Kaikkien kiinteistöjen huoltoon kuuluu säännöllinen ilmanvaihtokanavien puhdistaminen. Perusteellisesti tehty puhdistus ja ilmastoinnin säätö poistaa terveydelle haitallisia epäpuhtauksia sekä parantaa huomattavasti kodin sisäilmanlaatua. Sisäasiainministeriö on antanut asetuksen (13.9.2001), jossa määrätään ilmanvaihtokanavien ja -laitteiden puhdistuksesta. Lisäksi siinä määrätään hormien paloteknisen kunnon tarkastus ja puhdistus, joka on määrätty pakolliseksi tarvittavilta osin. Ilmastointikanavien puhdistusvälit riippuvat täysin kiinteistön koosta ja käyttötarkoituksesta. Sisäasiainministeriön asetus määrää, että majoitustilat, sairaalat, vanhainkodit, suljettujen rangaistuslaitosten, ravintoloiden, päiväkotien ja koulujen ilmanvaihtokanavat ja laitteistot on puhdistettava viiden vuoden välein. Ammattimaisten ruoanvalmistuspaikkojen, pesuloiden, leipomoiden, ruiskumaalaamoiden, puusepäntilojen, tekstiilitehtaiden, savustamoiden ja palavan nesteen säilytystilojen ilmanvaihtokanavat ja -laitteistot tulee puhdistaa vuosittain. Puhdistuksen tarvetta voi päätellä myös tulo- ja poistoilmaventtiilien likaisuudesta. [13.][11, s. 95–96.]

Ilmastointikanavistoon ja venttiileihin kertyy epäpuhtauksia ja näkyvää likaa, jos ilmanvaihtolaitosta ei puhdistata tarpeeksi säännöllisesti. Ilmanvaihtojärjestelmään pääsevä epäpuhtaus pienentää laitoksen ilmavirtoja ja aiheuttaa sisäilmaongelmia. Kanavistoon kertyy epäpuhtauksia, jos lämmöneristys on puutteellinen. Kondensoitunut vesi yhdessä ulkoa tulevan pölyn kanssa muodostaa potentiaalisen kasvualustan mikrobeille. Käyttäjä voi havaita epäpuhtaudet erityisesti keittiössä ja pesuhuoneessa tummana likana tulo- ja poistoilmaventtiileissä sekä niiden ympärillä. Ilmanvaihtojärjestelmän puhdistustarvetta voidaan arvioida myös tutkimalla kanaviston sisäpintoja, esimerkiksi videokuvauksella tai endoskopiaalilaitteilla. Silminähtävää pölyä kertyy erityisesti kierresaumakanaviin, kanavien haarakohtiin, jakolaatikoihin, ennen tuloilmaventtiilejä ja äänieristeiden pinnoille, eli sellaisiin kohtiin, joissa ilmavirtaus kohtaa esteen. Jos silmämääräinen tarkastelu ei riitä, ilmavaihtokanavien likaisuus voidaan todeta määrittämällä kanavan pölykertymä esimerkiksi suodatinmenetelmällä. Menetelmä toimii siten, että kanavassa oleva pöly imetään punnitulle suodattimelle, jolta punnitsemalla saadaan pölyn pintatiheys (g/m²). Mikrobikasvusto voidaan myös todeta kanavan pinnalta otetulla

näytteellä. Näytteen avulla määritetään kanavapinnan mikrobiitiheys (cfu/cm²). Myös pahanhajuinen tuloilma on merkki ilmanvaihtolaitoksen likaisuudesta. Pölyinen ilmanvaihtojärjestelmä on myös paloturvallisuusriski ja nykyään vaakutusyhtiötkin saattavat vaatia säännöllisen ilmastoinnin puhdistuksen juuri tämän paloturvavariskin takia. [13.][1, s. 134–137.]

Ilmastoinnin tulisi aina olla hieman alipaineinen, jotta talon rakenteet pysyvät kunnossa. Alipaineistamisella tarkoitetaan, että ilmastointikoneen piiriin kuuluvasta rakennuksesta poistuu enemmän ilmaa kuin sitä tulee. Toisin sanoen poistoilman määrä on suurempi kuin tuloilman. Ilmastoinnin nuohouksessa ilmanvaihtokanavat alipaineistetaan aina yksi kerrallaan siten, etteivät mahdolliset homeitiöt ja muut mikrobit pääse siirtymään kanavasta toiseen. Ilman alipaineistusta toivottu ja onnistunut lopputulos on käytännössä mahdotonta saavuttaa. Kun alipaineistus on tehty ja poistoilmaventtiilit suljettu, kanavat nuohotaan yksi kerrallaan harjalla. Se on kiinnitetty tilanteen mukaan valittuun vaijeriin (eri tilanteisiin käytetään erimittaisia ja taipuisia vaijereita). Vaijeri on kiinnitetty porakoneeseen, jolla sitä pyöritetään. Harjatyypin valitaan aina tapauskohtaisesti kohteen, lian sekä ilmanvaihtokanavan mukaan. Nuohouksen jälkeen puhdistetaan venttiilit ja ilmanvaihtokone sekä vaihdetaan uudet puhtaat suodattimet. Lisäksi vaihdetaan uudet hihnat, jos kone on hihnakäyttöinen. Liesituulettimen puhdistus kuuluu myös näihin työvaiheisiin. Kanaviston puhdistusluukkujen kautta likaantuvat laitteet ja osat päästään puhdistamaan tai irrottamaan ja puhdistamaan erikseen. Muunlaisia ilmastointikanavien puhdistusmenetelmiä ovat esimerkiksi imurointi, puhdistus vedellä tai höyryllä, puhdistus paineilmalla, kemiallinen puhdistus ja desinfiointi. Kemiallisia aineita käytetään yleensä rasvaisten kanavien puhdistamiseen. Kanavien desinfiointi, puhdistuksen jälkeen suoritetaan vain erityisistä syistä. Uusimpia ilmanvaihtokanavien puhdistamiseen käytettäviä laitteita ovat kauko-ohjattavat tarkastus- ja puhdistusrobotit, mutta nämä eivät ole ainaakaan Suomessa vielä yleistyneet laajalle. Kanavistojen puhdistustarve tulee ottaa huomioon jo suunnittelutyössä. Puhdistustyön ongelmakohtia ovat yleensä mineraalivillaiset eristepinnat, äänenvaimentimet ja ilmavirtojen ohjaus- ja säätölaitteet. [13.][1, s. 138.]

3.3 Ilmavirtojen mittaus ja säätö

Rakennuksissa tulee olla aina perusilmanvaihto, jolla estetään epäpuhtauspitoisuuksien ja kosteuden nousu sisäilmassa. Ilmavirta määräytyy ensisijaisesti henkilöperusteiden mukaan. Jos henkilökuormituksen mukaiselle ilmavirtojen mitoitukselle ei ole riittävästi perusteita,

tulee käyttää pinta-alan perustuvaa mitoitusta. Perusilmanvaihdon määräksi riittää yleensä 0,2 l/s neliometriä kohti. Ihmisperäisten epäpuhtauksien poistamiseen tarvitaan lisäksi noin 7 l/s henkilöä kohti. Oleskelutilojen ilman tulisi vaihtua kerran kahden tunnin aikana. Ilmavirtoja on kyettävä ohjaamaan kuormituksen ja laadun mukaan käyttötilannetta vastaavaksi. [1, s. 126–127.][14, s. 5.]

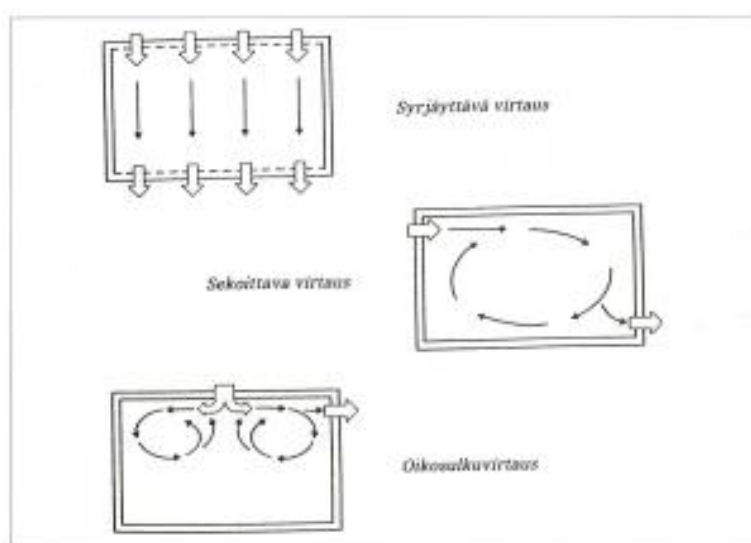
Rakennukset tulee suunnitella ulkoilmaan verratessa hieman alipaineisiksi, jolla estetään kosteuden tiivistyminen rakenteisiin. Paine-eron pitäisi olla kuitenkin alle 20 Pa, ettei ovien ja ikkunoiden avaaminen vaikeutuisi eikä syntyisi virtauksia, jotka aiheuttaisivat häiritseviä ääniä. Alapohjan yli olevan alipaineen tulisi olla pieni, jotta saadaan estettyä radonin tai muiden maaperän epäpuhtauksien kulkeutuminen rakennukseen. Huonetilojen ilmavirrat tulee suunnitella siten, että likaiset tilat ovat alipaineisempia kuin puhtaammat tilat. Näin ilma pääsee virtaamaan puhtaammista tiloista likaisempiin päin, eivätkä epäpuhtaudet pääse tarpeettomasti leviämään oleskelutiloihin. Kerrostalorakennuksissa painesuhteet tulee järjestää siten, että estetään ilman siirtyminen haitallisissa määrin porrashuoneen ja asuntojen välillä. [1, s. 127.]

Ilmanjako tarkoittaa tuloilman johtamista huonetilaan ja poistoilman poistamista huonetilasta. Ilmanjakoon kuuluvat tulo- ja poistoilmalaitteet sekä niiden ilmavirtaukset, joita ne synnyttävät huonetilassa. Käytännössä ilmanvaihtojärjestelmän voidaan olettaa olevan vain niin hyvä, kuin sen ilmanjako. Huono ilmanjako voi pilata muuten hyvin toteutetun ilmanvaihtolaitoksen. Jos edellä mainitut vaatimukset osoittautuvat ristiriitaisiksi, valitaan tapauskohtaisesti tärkein kriteeri. Joissakin tapauksissa on edullista laimentaa epäpuhtaudet mahdollisimman suureen tilavuuteen. Tällöin epäpuhtaudet eivät varsinaisesti poistu nopeasti, mutta niiden pitoisuus laskee riittävän pieneksi kyseisessä tilassa. Ilman epäpuhtauksien ja liikkeiden kannalta tuloilmaelimillä on ratkaiseva vaikutus lopputulokseen. Ilman jako huonetiloihin tapahtuu periaatteessa kolmella eri tavalla: [1, s.127–128.]

Syrjäyttävässä ilmanjaossa on tarkoitus pyrkiä epäpuhtauksien ja lämpötilan kerrostumiseen. Syrjäyttävä ilmanjako pyrkii liikuttamaan ilmaa ainoastaan yhteen suuntaan huonetilassa, joko ylhäältä alaspäin tai päinvastoin. Tuloilman sekoittumista huoneilmaan on pyrittävä välttämään. Epäpuhtaudet pyritään kuljettamaan virtauksen mukana pois huoneesta suoraan poistoseinämältä. Yleensä ilma on puhtaampaa tuloseinämällä kuin poistoseinämällä. [1, s. 128.][11, s. 15.]

Sekoittavassa ilmanjaossa tuloilma on tarkoitus sekoittaa tehokkaasti huoneilmaan. Tässä tilanteessa puhdas tuloilma ja epäpuhtas huoneilma sekoittuvat enemmän tai vähemmän täydellisesti toisiinsa ja poistuvat huoneesta sekoittuneessa tilassa. Tämä saadaan aikaiseksi käyttämällä ilmasuihkuja. Näiden suihkujen nopeus on välittömästi tuloilmaelimen jälkeen jopa useita metrejä sekunnissa. Näin suihku saadaan syvälle huoneilmaan. Tulokseksi saadaan tasaiset olosuhteet koko huonetilaan. Myös lämpötilaerot aiheuttavat sekoittavia ilmavirtauksia. Sekoittava ilmanjako soveltuu parhaiten tiloihin, joissa ei ole pistemäisiä ja voimakkaita epäpuhtauslähteitä. [1, s. 128.][11, s. 16.]

Oikosulkuvirtaus tarkoittaa tilannetta, jossa tapahtuu epäsuotava suora tuloilman poistuminen poistokanavaan. Tällöin osaan huoneilmasta ei sekoitu puhtaampaa tuloilmaa ja se jää näin ollen epäpuhtaaksi. Tällä tavalla huoneen ilmanjaon ei tule koskaan toimia. Kuvassa 2 esitellään edellä mainitut ilmanjakotavat. [11, s. 16.]



Kuva 2. Mallit ilman jakamisesta eri huonetiloihin. [11, s. 15.]

Ilmastointisuunnitelmissa tulee määritellä huone- ja venttiilikohtaiset ilmamäärät. Ilmavirrat säädetään hyväksytyjä piirustuksia vastaaviin arvoihin. Ilmavirtojen mittausta ja säätöä koskevat D2-ohjeet, Rakennushallituksen mittausohjeet ja standardit sekä SFS 5511 ja SFS 5512. Mittausta suoritettaessa on otettava myös huomioon laitetoimittajien laitteille laatimat mittaus- ja säätöohjeet ja säätöelinten diagrammit. Mittauksen ja säädön onnistumisen edellytyksinä on suunnittelussa huomioitava mittauspaikat ja –menetelmät sekä säätöelinten sijoitus. Mittauslaitteet tulee olla kalibroitu ja mittautulokset ja –olosuhteet sekä käytetyt mittausme-

netelmät ja –laitteet tulee kirjata ylös. Ennen säätämisen aloittamista on suoritettava tiettyjä toimenpiteitä

- Puhaltimen pyörimissuunta ja virtaus tarkistetaan.
- Tarkistetaan ettei kanavistossa ole esteitä virtauksille.
- Automaattiset pellit on kytkettävä pois toiminnasta.
- Kanaviston tiiveys tarkistetaan.
- Kaikkien venttiilien tulee olla asennettu paikoilleen.
- Kaikki kanaviston säätöpellit avataan, paitsi jos niille on suunnitelmissa määritellyt esisäätöarvot.
- Ulkoilmaan johtavat ovet ja ikkunat suljetaan.
- Tulo- ja poistopuolen mittaukset suoritetaan samanaikaisesti. [8, s. 106–107.]

Huomioon tulee ottaa myös ilmavirtoihin vaikuttavat tekijät

- Asetusmenetelmän tarkkuus $\pm 8\text{--}15 \%$
- Asetuspoikkeama $\pm 5\text{--}15 \%$
- Säätökijät $\pm 5\text{--}15 \%$
- Rakennus ja sen käyttö $\pm 5\text{--}15 \%$
- Laitoksen säätö ja ohjaus $\pm 5\text{--}15 \%$
- Laitoksen likaantuminen $-10\text{--}40 \%$
- Laitoksen vuodot
- Jäätyminen, lumi ja vesi
- Laitoksen muutostyöt [8, s. 108.]

Jos puhaltimelta mitattu ilmavirta on suurempi kuin suunnitelmissa annettu arvo, sitä pienennetään tarvittava määrä jättäen kuitenkin 10–20 % suunniteltua arvoa suuremmaksi. Näin saadaan otettua huomioon kanaviston painehäviöt. Joskus kyseessä voi olla myös mittausvirhe, joka aiheuttaa tilavuusvirran poikkeamisen suunnitteluarvosta. Tarkimmillakin tuloksilla voidaan arvioida päästävän kokonaistarkkuuteen $\pm 10 \%$. Mittausvirheitä voivat aiheuttaa seuraavat tekijät: mittauslaite, menetelmävirhe ja lukemavirhe. Mittausvirhe f voidaan arvioida yhtälöstä $f = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2}$, jossa

f = Mittausvirhe

m_1 = Mittauslaitteen virhe - %

m_2 = Menetelmävirhe

m_3 = Lukemavirhe

Hyväksyttäviä poikkeamia mitoitusarvoista ovat ilmavirta järjestelmäkohtaisesti $\pm 10 \%$, ilmavirtahuonekohtaisesti $\pm 20 \%$ ja ilman nopeus oleskeluvyöhykkeellä $+ 0,05 \text{ m/s}$. [8, s. 107, 109.][14, s. 12.]

Seuraavaksi selostetaan muutamia yleisimpiä mittausmenetelmiä ja miten ne suoritetaan käytännössä.

Kanavamittaus monipistemenetelmällä. Tässä menetelmässä ilmamäärien mittausta varten kanavaan tehdään mittausreikä, jonka suuruus 10 mm ja se suljetaan mittauksen jälkeen muovi- tai kumitulpalla. Jos mittaus suoritetaan paloeristetyistä kanavasta, tulee tulpan olla paloviranomaisten vaatimuksia vastaava. Mittauslaitteena toimii yleensä pitot-putki mikromanometriin liitettynä tai kuumalanka-anometri. Pitot-putkea käytetään kokonaispaineen, staattisen paineen tai dynaamisen paineen mittaamiseen. Virtausnopeus saadaan mittaamalla kokonaispaineen ja staattisen paineen erotus eli dynaaminen paine Bernoullin yhtälön mukaisesti. Virtausnopeus $= \sqrt{2 P_d / \rho}$, jossa

P_d = Dynaaminen paine

ρ = Mitattavan kaasun tiheys

Ilmavirran keskinopeus saadaan mitattujen virtausnopeuksien keskiarvona. Tilavuusvirta saadaan laskettua kaavalla $q_v = k \cdot v_k \cdot A$, jossa

q_v = Tilavuusvirta [m^3/s] tai [l/s]

k = Menetelmäkerroin (valitaan taulukosta)

v_k = Ilmavirran keskinopeus

A = Kanavan poikkipinta-ala

Yleensä tässä menetelmässä tyydytään menetelmävirheeseen, joka on noin 5-10 %, jos mittauspäikan edessä tai takana ei ole riittävästi suoraa kanavaa. [8, s. 113–117.]

Mittaus kalibroiduilla mittauselimillä. Lautasventtiilit säädetään paine-eromittarilla, jossa on painesondi eli mittakoukku. Mittaus tapahtuu paine-eruventtiilin kauluksen takaa ympäristöön nähden. Tässä mittauksessa on huomioitava, että tuloilmaventtiileissä on ylipaine ja poistoilmaventtiileissä alipaine. Tämä on muistettava mittakoukun letkua mittariin liitettäessä. Paine kannattaa mitata useasta eri kohdasta symmetrisesti. Mittauksen jälkeen säädetään venttiilin lautasen asento halutuksi ja mitataan säädetty asento mittatulkkia käyttäen. Poistoilmaventtiilissä tämä asento voi olla negatiivinen. Tämä tarkoittaa, että lautanen on sisempänä kuin venttiilin kehys. Säättämisen jälkeen venttiiliin asento lukitaan. Venttiilin mukana on säätödiagrammi, josta katsotaan asentoa ja paine-eroa vastaava ilmamäärä (l/s). [8, s. 118.]

Kattohajottajia on useita erilaisia. Valmistaja laittaa yleensä hajottajan mukana erilliset mittaus- ja säätöohjeet, joita tulee noudattaa. Hajottajan mittausperiaate on, että paine-ero mitataan määrätystä kohtaa hajottajalta. Sätöohjeista selviää kohta, johon mittauskoukku tai letku pitää sijoittaa mitatessa. Tässäkin tapauksessa ilmamäärä saadaan katsomalla säätödiagrammista venttiilin asento ja mittaamalla paine-ero. [8, s. 119.]

Mittarenkaita löytyy sekä säädettävää mallia että mallia, jolla voidaan mitata pelkästään ilmamäärä. Mittarenkailta mitattaessa on kiinnitettävä huomiota, että suojaetäisyydet ovat riittävät. Tarvittavat etäisyydet selviävät mittarenkaan mittaus- ja säätöohjeesta. Yleisesti voidaan olettaa, että riittävää suojaetäisyyttä on silloin, jos suoraa hormia ennen rangasta on vähintään $6 \cdot d$ (renkaan halkaisija) ja renkaan jälkeen vä-

hintään $2,5 \cdot d$. Menetelmävirheen suuruus riippuu pitkälti suojaetäisyyksistä. Ilmavirrat mitataan mittarenkaasta paine-eron avulla, jotka mitataan mittayhteistä ja niiden keskiarvon perusteella määritellään diagrammista tilavuusvirta. Säädetty asento tulee ottaa huomioon ja kirjata ylös. Ilmavirran laskemiseen käytetty kaava on $q_v = k \cdot \sqrt{\Delta P_m}$, jossa

q_v = Tilavuusvirta [m^3/s] tai [l/s]

k = Menetelmäkerroin (valitaan taulukosta)

$\sqrt{\Delta P_m}$ = Paine-ero

[8, s. 120.]

Anemometritorvella mittaus. Anemometritorvella mittaus soveltuu kaikille venttiileille, joiden sijainti on sellainen, että torvi sopii niiden päälle tiiviisti. Mittausmenetelmän etuna on, että mittauksessa ei ole tarvetta venttiilidiagrammeille. Haittapuolena taas on usein suuri menetelmävirhe. Mittausmenetelmä perustuu siihen, että ilmavirta on pakotettu kulkemaan kapeimmalta kohdalta vakiopoikkipinta-alaisen anemometritorven läpi, josta virtausnopeus mitataan. Nykyajan mittarit laskevat tilavuusvirran suoraan ja ilmoittavat tuloksen mittarin näytöllä. Ennen tilavuusvirta laskettiin itse tai katsottiin taulukosta. Anemometritorvella voidaan käyttää joko pitot-mittaria tai siipipyöräänemometriä. [8, s. 121.]

3.4 Ilmastointilaitteiden vaikutus sisäilmaan

Ilmastointi on ilmanvaihtoa laajempi käsite. Ilmanvaihdolla pyritään vain keskeisten epäpuhtauksien poistoon. Ilmastoinnilla hallitaan huoneilman puhtauden, lämpötilan, kosteuden, viihtyvyyden ja ilman liikkeen hallintaa tulo- ja poistoilmajärjestelmiä hyväksi käyttäen. Ilmastointi on siis ilmanvaihtoa paljon monimutkaisempi järjestelmä.

Ilmastointijärjestelmiä huolletaan ilmastointikoneiden toimintakykyä ylläpitämällä. Tämä tarkoittaa säännöllisiä huoltotoimenpiteitä, kuten hihnojen ja suodattimien vaihtoa kun tarve vaatii. Ilmastointia huolletaan myös kanaviston ja koneiden säännöllisillä puhdistustoilla. Ilmastoinnin toimintakyvyn kannalta on tärkeää, että ilmavirtaukset ovat jokaiseen huoneti-

laan suunnitelmien mukaiset. Näin varmistetaan tehokas ilman vaihtuvuus. Säännöllisillä huoltotoimenpiteillä, kuten suodattimien vaihdolla ja puhdistustöillä, saadaan suuri vaikutus sisäilman parantamisen kannalta.

Ilmastoinnin päätavoite on ylläpitää sisätiloissa hyvää, tilojen käyttötarkoitusta vastaavaa sisäilmastoa koko rakennuksen käyttöiän ajan. Ilmanvaihto on mahdollista toteuttaa joko koneellisesti tai painovoimaisesti. Koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla saadaan helpommin varmistettua, että jokaiseen huonetilaan on riittävä ilmanvaihto. Laitteiden säännöllisellä huollolla ja suunnitelmien mukaisella käytöllä saadaan toteutettua hyvä ja riittävä ilmanvaihto, joka edistää sisäilman laadun parantamista. [1, s. 119.]

Tutkimustyötä aiheesta jossa, luonnollinen ilmanvaihto tuotettaisiin rakennuksessa, olisi hyvä saada lisää. Jatkotutkimuksessa voisi käsitellä, miten saataisiin tuotua ulkoilmassa sijaitsevia, terveellisiä pieneliöitä sisäilmaan ja millainen vaikutus näillä olisi sisäilman ja rakennuksen laatuun. Lisäksi tutkimuksessa voisi pohtia ratkaisun arkkitehtuurisia haasteita.

4 KAIJP:N ILMASTOINTITYÖMAA

Kainuun jääkäripataljoona, lyhennettynä KAIJP, on Kainuun Prikaatiin kuuluva joukkoyksikkö, joka sijaitsee kasarmirakennuksessa 2. Kainuun jääkäripataljoonaan kuuluvat 1., 2. ja 3. jääkärikomppania. Kainuun jääkäripataljoona kouluttaa valmiusprikaatin jääkärijoukkoihin johtajia ja taistelijoita vaativiin olosuhteisiin ja tehtäviin asutuskeskuksissa sekä laajoilla erämaa-alueilla. [15.]

Verrattuna esimerkiksi toimisto- tai koulurakennukseen, kasarmirakennus on huomattavasti kovemmallalla rasituksella, miksi sen sisäilma ja ilmanvaihto vaatii erityistä huomiota. Käyttäjää koko rakennuksessa on yleensä 400–500 ja yhdessä yksikössä 130–180. Kuivatustilat ovat usein kovassa käytössä märkien vaatteiden takia ja varusteiden mukana kulkee usein ulkoa harjoituksista huomattava määrä epäpuhtauksia. Tiloissa kuljetaan päivän aikana paljon ja sisällä käytetään ulkokenkiä, mikä vaikuttaa epäpuhtauksien määrään. Jos tuvissa on varusmiehiä, tupien ovia pidetään auki, ja jos tuvat ovat tyhjiä, ovet ja ikkunat ovat suljettuina.

Tässä työssä käsiteltävä ilmastointityö käsittää koko pataljoonan ilmastoinnin nuohouksen ja säädön. Komppanioiden ollessa lähes samanlaiset ja ilmastointilaitteiden toimintaperiaatteen ja nuohoustöiden ollessa joka yksikössä sama, tässä työssä keskitytään pääsääntöisesti vain 3. jääkärikomppanian eli c-rapun ilmastointityöhön. Tämän rapun ilmastointijärjestelmän piiriin kuuluu myös pataljoonan esikunta. Ainoastaan tästä yksiköstä otettiin kuitunäytteet. Poikkeuksena tähän tässä työssä otetaan myös esiin käyttäjien haastattelu, joka suoritettiin tiedustelukompaniassa. Tiedustelukomppania kuuluu Kainuun jääkäripataljoonaan mutta sijaitsee fyysisesti Kuopion pataljoonan rakennuksessa, joka on samanlainen rakennus kuin Kainuun jääkäripataljoonan käytössä oleva kasarmi. Äänitasomittaukset suoritettiin 2. jääkärikompaniassa eli b-rapussa.

4.1 Rakennuksen ilmastointijärjestelmä

3. jääkärikomppanian ja jääkäripataljoonan esikunnan eli c-rapun ilmastointi tapahtuu tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmällä. Raitisilma- ja jäteilma-aukot on sijoitettu vesikatolle ja koneet sijaitsevat ullakkokerroksessa, joka on kokonaan ilmastointijärjestelmälle varattu tila. Ilmastointikoneen lämmöntalteenotto tapahtuu poistoilmasta, patteri-patteri-järjestelmällä.

Suodattimet sijaitsevat ennen lämmöntalteenottolaitetta ja ilmastointikoneetta. Suodattimet ovat hienosuodattimia, joiden luokitus on EU7. Kuvassa 3 on yksi järjestelmän suodattimista. Yleisimmät poistoilmanvaihdon päätelaitteet rapussa ovat KSO- ja URH-venttiilejä ja tuloilmanvaihdon yleisimmät päätelaitteet ovat SV-2+TG 500x100-mallisia päätelaitteita, joiden koko vaihtelee tarpeen mukaan. Liitteessä 1 käsitellään puhdistus- ja tarkastuskohteet.



Kuva 3. Ilmastointikoneen suodattimet.

Ilmanjako rapussa tapahtuu eri tiloihin eri tavalla. Tupiin, joissa oleskelee eniten käyttäjiä, ilmanjako tapahtuu oikosulkuvirtauksena, mihin tulisikin tehdä muutos. Joihinkin kasarmirakennuksiin onkin alettu vaihtamaan erilaista ilmanjakotapaa toteuttavaa järjestelmää. Käytännössä tupien tulo- ja poistoilmaventtiilit sijaitsevat samalla seinällä mikä aiheuttaa oikosulkuvirtauksen. Myös toimistojen ilmanjako on oikosulkuvirtauksella. Käytävillä ja halleissa ilmanjako tapahtuu sekoittuvana virtauksena. Käytävän tuloilmaventtiilit sijaitsevat käytävän keskellä, ja poistoilmaventtiilit käytävän eri päissä, jolla saadaan sekoittava ilmavirtaus aikaiseksi. Halleissa poisto- ja tuloilmanvaihtopäätelaitteet on sijoiteltu eri puolille hallia sekoittavan ilmavirtauksen saamiseksi.

4.2 Kuitunäytteiden otto ja käyttäjien haastattelu

Kuitunäytteet otettiin kahdesta eri tilasta, tuvasta ja toimistosta G9-kankaalla, kutsutaan myös nimellä sairaalakangas. Kangas kiinnitettiin venttiiliin, jossa kangas keräsi mahdollisia mineraalivillakuituja. Kankaassa on sähkömagneettinen varaus, jonka avulla kangas kerää kuidut itseensä. Tuvasta otetussa näytteessä oli silmin havaittavia isoja mineraalivillakuituja, jotka näkyvät kuvassa 4. Onkin aihetta epäillä, että jossain vaiheessa kanavaa, eriste on päässyt hajoamaan ja levittänyt mineraalivillakuituja kanavistoon. Toimistosta otetussa näytteessä ei ollut silmin havaittavia kuituja, joten se lähetettiin tutkittavaksi (liite 3). Tutkimuksessa laskettiin suodatinkankaalle kerääntyneet mineraalivillakuidut valomikroskoopilla ja näytteen mineraalivillakuitujen määrä ei ylittänyt Työterveyslaitoksen suositusta tuloilman arvosta. Suodatinkangas oli kiinni tuloilmaventtiilissä 5 vuorokautta ja sen läpi kulkevan ilmamäärä oli 13824 m³. Suodattimen tehollinen pinta-ala oli 23 x 24 cm.



Kuva 4. Silminnähtäviä mineraalivillakuituja näytteessä.

Kasarmirakennuksen käyttäjiä eli varusmiehiä haastateltiin Tiedustelukomppaniassa, joka sijaitsee Kuopion pataljoonan kasarmirakennuksessa. Käyttäjät kuuluivat saapumiserään 2/12. Haastattelu suoritettiin ennen ja jälkeen ilmastoinnin puhdistustöiden. Jokainen käyttä-

jä kertoi huomanneensa selvän eron nuohouksen ja villan poiston jälkeen. Käyttäjien yleisiä oireita ennen ilmastoinnin puhdistusta olivat kurkkukivut, nuhaisuus, flunssa ja poskiontelon tulehdukseen viittaavat oireet. Vähemmän yleisiä oireita kokivat mm. haastateltava 1, jolla hävisi ääni kokonaan ja haastateltava 2, jolla oli ollut keuhkokuume. Haastateltavalla 3 oli ollut poskiontelon tulehdus 8 kertaa sekä keuhkoputken tulehdus ja ylähengitystieongelmia. Haastateltavalla 3 oli myös rasisusastma, mikä saattoi pahentaa oireita mutta hän kertoi olleensa terveempi reserviupseerikurssin aikana, mikä pidetään Haminassa. Haastateltavalla 4 ja haastateltavalla 5 molemmilla oli ollut pitkittynyt poskiontelon tulehdus. Haastateltavalla 5 oli ollut lisäksi otsaontelontulehdus. Haastateltava 6 oli ollut kotihoidossa oireiden takia ennen ilmastoinnin puhdistustöitä. Yhteyttä näiden oireiden ja mineraalivillakuitujen, ilmastoinnin tai sisäilman epäpuhtauksien välillä ei tietenkään pystytä todistamaan pelkällä käyttäjien haastattelulla. Tekijöitä, jotka voivat aiheuttaa samanlaista oireilua, on aivan liikaa, eikä kaikkia ylimääräisiä tekijöitä, kuten erilaiset bakteerikannat ja maastossa olevat epäpuhtaudet, voida sulkea mitenkään pois. Tautien leviämistä edistää tietenkin myös se, että samassa tuvassa saattaa asua jopa 12 henkilöä. Lisäksi on otettava huomioon, että ilmastoinnin puhdistuksen ja mineraalivillan purkamisen jälkeen jokainen käyttäjä kertoi oireiden helpottaneen ja sairastelun vähentyneen. Ilmastointijärjestelmän puhdistuksella saattaa olla myös jonkinlainen psykologinenkin vaikutus. Käyttäjä saattaa välittömästi ajatella olonsa olevan parempi, kun hänelle kerrotaan, että sisäilmassa ei ole enää mineraalivillakuituja tai muita epäpuhtauksia. [16.]

On syytä mainita yksi sisäilman ongelmien aiheuttaja tuvilla. Puolustusvoimien sänkyjen pohja on paksua vaneria, jonka kautta kosteus ei pääse haihtumaan. Nukkuessaan varusmiehet hikoilevat ja kosteus siirtyy yön aikana patjaan. Aamulla sängyt sijataan välittömästi ja kosteus jää patjaan, eikä pääse haihtumaan minnekään, vaan sitoutuu patjaan ja pohjavaneriin. Tämä tarjoaa oivan kasvualustan mikrobeille ja homeelle. Tämä onkin varmasti ollut yksi tekijä, joka on aiheuttanut tai ainakin vaikuttanut käyttäjien oireiluun. Kainuun prikaatissa asia on otettu huomioon siten, että sänkyjen annetaan tuulettaa aamuisin aamupalalla käynnin ajan ja sänkyjen pohjiin on porattu reikiä tai ne on vaihdettu hengittävämpään materiaaliin.

4.3 Villan purku ja ilmastointijärjestelmän puhdistus

Kasarmirakennuksen ilmastoinnin puhdistustyöt aloitettiin mineraalivillan tai tarkemmin sanottuna lasivillan poistamisella ilmastointikoneesta, päätelaitteista, ääniloukuista ja muista paikoista missä sitä sijaitsi. Oli myös paikkoja, joihin ei päästy käsiksi tai purkamisen olisi ollut kustannussyistä kannattamatonta. Esimerkiksi sähköjohtojen yläpuolella tai kantavan rakenteen sisässä oleva äänenvaimennin käsiteltiin pinnoitusaineella, joka sitoo villakuidut itseensä eikä näin päästä kuituja sisäilmaan. Pinnoite pitää uusia 5 vuoden välein, koska ilmastovirtaukset kuluttavat sitä. Purettu lasivilla säilöttiin jätesäkkeihin ja kuljetettiin kaatopaikalle.

Ilmastoinnin puhdistus aloitettiin tulopuolen kanaviston alipaineistuksella. Kanaviston nuohous aloitettiin ylimmästä kerroksesta tuvista ja pesuhuoneista. Kun tupien, pesuhuoneiden ja käytävien päätelaitteiden kanavapistot oli nuohottu vaakahormiin ja vaakahormista pystyhormiin, siirryttiin alempaan kerrokseen. Käytävien päätelaite esitellään kuvassa 7. Nuohoustyöt suoritettiin kerros kerrallaan ylhäältä alaspäin. Kun vaakahormit oli nuohottu kaikissa kerroksissa, siirryttiin pystyhormien nuohoukseen, joka suoritettiin konehuoneesta eli ylimmästä kerroksesta käsin. Nuohouksen yhteydessä päätelaitteet, joissa oli mineraalivillaa, imuroitiin ja pestiin, jotta kaikki kuidut saatiin varmasti poistettua. Tulopuolen ilmanvaihdon jälkeen puhdistettiin poistopuolen ilmanvaihto. Poistopuolta ei alipaineistettu alipaineistajalla, vaan poistokone laitettiin toimimaan täydellä teholla, joka takasi riittävän virtauksen kanavistossa nuohousta varten. Poistopuoli oli erityisesti puhdistuksen tarpeessa, kuten voidaan todeta kuvista 5 ja 6. Poistopuolen kanavisto nuohottiin samalla periaatteella kuin tulopuoli-kin, eli ylhäältä alas ja vaakahormit ennen pystyhormeja. Kanaviston puhdistuksen jälkeen oli vuorossa ilmastointikoneiden puhdistus. Poisto- ja tulopuolen koneet, kammiot ja lämmöntalteenottolaite imuroitiin ja pestiin painepesurilla, jotta viimeisetkin epäpuhtaudet ja mineraalivillakuidut saatiin poistettua. Päätelaitteiden, koneiden ja LTO-laitteen pesuun käytettiin Thunder-merkkistä teollisuuspesuainetta. Ilmastoinnin puhdistuksen yhteydessä ilmastointikoneisiin vaihdettiin suodattimet ja kiilahihnat.



Kuva 5. Likainen URH-poistoilmaventtiili.



Kuva 6. Likainen poistoilmakanava.



Kuva 7. Käytävällä sijaitseva tulopuolen päätelaite.

4.4 Acutecin asennus ja ilmavirtojen säätö

Ilmanvaihtokanavien puhdistuksen jälkeen asennettiin Lindabin valmistamat acutec-eristeet. Acutec asennettiin päätelaitteisiin, ilmastointikoneen äänisieppareihin ja lisäksi vanhat kana-väännenvaimentimet vaihdettiin acutecilla vuorattuihin äänenvaimentimiin. Päätelaitteisiin ja koneeseen tulleet palat mitattiin ja leikattiin sopivan kokoisiksi asennusta varten. Asennukseen käytettiin liimamassaa ja eriste peitettiin reunoilta peltiprofililla. Ilmastointikoneissa mineraalivilla oli pellitetty reikäpellillä ja samaa pellitysmenetelmää käytettiin, kun acutec asennettiin ilmastointikoneisiin ja kammioihin. Kuvassa 9 esitellään acutecin asennus ja kuvassa 8 on tuloilmakammio ennen acutecin asennusta.



Kuva 8. Tuloilmakammio, jossa on eristeenä mineraalivilla ja päällä reikäpelti.



Kuva 9. Tuloilmakammio. Acutec asennettu. Pellitys puuttuu.

Ilmavirtojen mittaus ja säätö aloitettiin 3. jääkärikomppanian ylimmästä kerroksesta, ilmastointikonetta lähimpänä olevasta päätelaitteesta. Säätö suoritettiin siis kerros kerrallaan ylhäältä alaspäin. 3. jääkärikomppanian jälkeen säädettiin pataljoonan esikunta, joka on saman ilmastointikoneen piirissä kuin 3. jääkärikomppania. Poistopuolen mittauksessa käytettiin lähinnä VelciCALC-merkkisellä siipipyöranemometri-mittaria, joka on kuvassa 10. Poistopuolen päätelaitteet olivat suurimmaksi osaksi KSO- ja URH-mallisia lautasventtiilejä. Tulopuolen mittaus taas suoritettiin paine-eromittauksella päätelaitteiden säätöpelleistä, letkuja käyttäen. Mittarin annettua paine-eron, tulos saatiin taulukosta tai laskemalla kaavalla $q_v = k \cdot \sqrt{\Delta P_m}$, jossa

q_v = Tilavuusvirta [m^3/s] tai [l/s]

k = Menetelmäkerroin (valitaan taulukosta)

$\sqrt{\Delta P_m}$ = Paine-ero.



Kuva 10. Ilmavirtojen mittaukseen käytetty mittari, VelociCalc.

Kerroin valittiin kulloisenkin päätelaitteen koon mukaan. Jos päätelaitteeseen ei päästy käsiksi, ilmavirta laskettiin mittarenkaasta tai säätöpellistä samalla paine-eromittauksella. Mittarenkaille ja säätöpelleille oli myös omat kertoimet koon mukaan. Ilmavirtojen mittauspöytäkirjoja (liite 2) tarkastelemalla voidaan todeta, että tuloilma riittää rakennuksessa erittäin hyvin, paikoitellen sen rajoittaminen oli haasteena. Kuvassa 11 on tulopuolen päätelaite. Poistopuolella taas ilmavirta oli hankala saada riittäväksi ja joissakin pesuhuonetiloissa ilmavirtoja ei saatu sallitun 20 % poikkeaman sisälle. Tätä ongelmaa ei vielä ole saatu ratkaistua. Ongelman ratkaisuksi on ehdotettu WC- ja pesuhuonetilojen poistoilman siirtäminen oman huippuimurin alaisuuteen, mutta tätä ei ole ainakaan vielä toteutettu.



Kuva 11. Tuvassa oleva tulopuolen päätelaite ja mittausletkut.

4.5 Äänitasomittaukset

Johtuen Kainuun jääkäripataljoonan työmaa-aikatauluista, äänitasomittaukset oli pakko suorittaa eri rapussa. Tällä on kuitenkin hyvin vähän merkitystä, koska raput ovat hyvin samantaisia ja samat ilmastointityöt tehtiin joka rappuun. Äänitasomittaukset suoritettiin tiettyihin tupiin, toimistoihin ja käytäville kohtiin joissa päätelaitteet sijaitsivat. Mittaukset suoritettiin ennen ja jälkeen ilmastoinnin puhdistustöiden. Tuvissa ja toimistoissa mittauspiste oli tilan keskellä noin 1,5 metrin korkeudella lattiatasosta. Mittausten aikana ilmastointikoneet toimivat puoliteholla.

Mineraalivilla korvattiin Lindabin valmistamalla acutec-eristeellä, jolle valmistaja lupaa paremman ääneneristyksen kuin mineraalivillalle. Liitteestä 4 voidaan kuitenkin todeta äänitasomittausten tulosten avulla, että ero on hyvin pieni ja joissakin paikoissa melu oli jopa kovempaa kuin mineraalivillan toimiessa eristeenä, kun taas joissakin paikoissa melu jäi vähäisemmäksi eristeen vaihdon jälkeen. Tutkimuksia voisi ja pitäisi tehdä laajemmin ja useammilla otoksilla täysin varmojen tulosten aikaan saamiseksi. Näillä tuloksilla voidaan kuitenkin todeta, että ainakaan acutec ei ole mineraalivillaa huonompi äänieriste, joskaan ei välttämättä parempikaan. [17, s. 1.]

4.6 Ilmastointityön vaikutukset

Laadukkaan ja terveellisen sisäilman aikaan saaminen on yksi tärkeimmistä kriteereistä rakentamisessa. Tämä tulee huomioida erityisesti ilmastointityömaalla. Tärkeää on myös saada ilmastointijärjestelmä toimivaksi ja tehokkaaksi. Nämä vaatimukset saadaan toteutettua säännöllisillä ja ammattilaisten tekemillä huolto- ja puhdistustöillä. Haastatteluilla pystyttiin todistamaan ilmastoinninpuhdistustöiden positiivisia vaikutuksia rakennuksen käyttäjiin ja sisäilman laadun paranemiseen. [16.]

Tulevaisuudessa koneellisen ilmanvaihdon merkitys ja vaatimukset tulevat kasvamaan, kun pyritään tuottamaan entistä laadukkaampaa ja terveellisempää sisäilmaa. Huonolla sisäilmalla on kansakunnan laajuisia epäterveellisiä vaikutuksia, joista on pyrittävä pääsemään eroon kiinnittämällä erityistä huomiota siihen, miten ilmaa tuotetaan ja tuodaan asuintiloihin.

Jatkotutkimukseksi Kainuun jääkäripataljoonan ilmastointityöhön tulisi tehdä kuitumittaukset ja erilaisia sisäilman laatua mittaavia tutkimuksia. Tällä saataisiin lisää varmuutta ilmastointitöiden positiiviselle vaikutukselle.

5 YHTEENVETO

5.1 Keskeiset johtopäätökset

1. tutkimuskysymyksessä kysyttiin sisäilman koostumuksen tekijöitä ja niiden vaikutusta ihmisen asuinympäristöön. Sisäilma koostuu monesta eri tekijästä. Siihen vaikuttavat mm. ilmanvaihtotapa, ilmanjakotapa, ulkoilmasta ja ihmisen mukana kulkeutuvat epäpuhtaudet sekä rakenteiden ja materiaalien epäpuhtaudet. Ihminen pystyy teoillaan vaikuttamaan sisäilman puhtauteen tehokkaasti. Mikäli puhtaasta sisäilmasta ei huolehdita, vaikutukset elinympäristöön voivat olla hyvinkin vakavat. Huono sisäilma saattaa aiheuttaa oireilua ja sairastelua. Hyvä sisäilma on tärkeä tekijä ihmisen asuinympäristössä.

2. tutkimuskysymys koskee ilmastointia, mitä se on ja miten sitä huolletaan. Ilmastointi on ilmanvaihtoa laajempi käsite. Ilmanvaihdolla pyritään vain keskeisten epäpuhtauksien poistoon. Ilmastoinnilla hallitaan huoneilman puhtauden, lämpötilan, kosteuden, viihtyvyyden ja ilman liikkeiden hallintaa tulo- ja poistoilmajärjestelmiä hyväksi käyttäen. Ilmastointi on siis ilmanvaihtoa paljon monimutkaisempi järjestelmä.

Ilmastointia huolletaan ilmastointikoneiden toimintakykyä ylläpitämällä. Tämä tarkoittaa säännöllisiä huoltotoimenpiteitä, kuten hihnojen ja suodattimien vaihtoa kun tarve vaatii. Ilmastointia huolletaan myös kanaviston ja koneiden säännöllisillä puhdistustöillä. Ilmastoinnin toimintakyvyn kannalta on tärkeää, että ilmanvirtaukset ovat jokaiseen huonetilaan suunnitelmien mukaiset. Näin varmistetaan tehokas ilman vaihtuvuus.

3. tutkimuskysymys käsittelee tutkittua aihetta käytännössä, eli miten sisäilman ja ilmastoinnin vaatimukset huomioidaan työmaalla ja mikä vaikutus työllä on sisäilman laatuun ja ilmastoinnin toimintaan. Laadukkaan ja terveellisen sisäilman aikaan saaminen on yksi tärkeimmistä kriteereistä rakentamisessa. Tämä tulee huomioida erityisesti ilmastointityömaalla. Tärkeää on myös saada ilmastointijärjestelmä toimivaksi ja tehokkaaksi. Nämä vaatimukset saadaan toteutettua säännöllisillä ja ammattilaisten tekemillä huolto- ja puhdistustöillä. Haastatteluilla pystyttiin todistamaan ilmastoinninpuhdistustöiden positiivisia vaikutuksia rakennuksen käyttöön ja sisäilman laadun paranemiseen.

Sisäilma ja sen laatu alkaa muodostusmaan jo rakennuksen valmistusvaiheessa. Oikeiden rakennusmateriaalien ja -menetelmien valinnalla voidaan jo vaikuttaa tulevan rakennuksen sisäilman laatuun. Sisäilman laatu koostuu rakennusmenetelmien lisäksi myös rakennuksen käyttötarkoituksesta, käyttäjien vaikutuksesta ja eri epäpuhtauksista sekä näiden torjumisesta. Ilmastoinnilla ja ilmanvaihdoilla on keskeinen merkitys sisäilman laadun kannalta. Säännöllisillä huoltotoimenpiteillä, kuten suodattimien vaihdolla ja puhdistustoilla saadaan suuri vaikutus sisäilman parantamisen kannalta. Erityistä huomiota pitää tulevaisuudessa kiinnittää siihen, miten ja millaisena sisäilma tuotetaan ihmisten elinympäristöön.

5.2 Jatkotutkimukset

Tutkimusta olisi mielenkiintoista jatkaa monellakin eri tapaa, erityisesti sisäilman ja sen laatuun vaikuttavien tekijöiden tutkiminen olisi erityisen tärkeää. Tästä aiheesta olisi hyvä tehdä lisätutkimuksia, koska sisäilman tutkimuksia on tehty aivan liian vähän verrattuna ulkoilman ja teollisuusympäristön tutkimuksiin. Aiheesta olikin haastavaa löytää tarpeeksi lähteitä tähän työhön. Jatkotutkimuksia voisi tehdä myös erilaisista ilmastointi- ja ilmanvaihtojärjestelmistä. Tutkimus aiheesta jossa luonnollinen ilmanvaihto tuotettaisiin rakennuksessa, olisi hyvin aiheellinen. Jatkotutkimuksessa voisi käsitellä miten saataisiin tuotua ulkoilmassa sijaitsevia, terveellisiä pieneliöitä sisäilmaan ja millainen vaikutus näillä olisi sisäilman ja rakennuksen laatuun. Lisäksi tutkimuksessa voisi pohtia ratkaisun arkkitehtuurisia haasteita. Tähän tutkimustyöhön olisi voinut suorittaa kuitunäytteiden oton tai muita sisäilman laatua mittaavia tutkimuksia myös ilmastointitöiden jälkeen.

LÄHTEET

- (1) Puhakka E. Terveellinen sisäilma. [Helsinki]: Suomen sisäilmaston mittauspalvelu; 1996
- (2) Hengityслиitto. Hengitysilma. Sisäilma. Hiukkasmaiset ja kaasumaiset epäpuhtaudet. Luet-
tu 10.2.2014 [WWW-dokumentti]
[http://www.hengityслиitto.fi/hengitysilma/sisailma/hiukkasmaiset-ja-kaasumaiset-
epapuh-taudet#.U0-al1c-eMc](http://www.hengityслиitto.fi/hengitysilma/sisailma/hiukkasmaiset-ja-kaasumaiset-epapuh-taudet#.U0-al1c-eMc)
- (3) Hengityслиitto. Hengitysilma. Sisäilma. Hiukkasmaiset ja kaasumaiset epäpuhtaudet. Kuiva
ja kostea ilma. Luettu 11.2.2014 [WWW-dokumentti]
[http://www.hengityслиitto.fi/hengitysilma/sisailma/hiukkasmaiset-ja-kaasumaiset-
epapuh-taudet/kuiva-ja-kostea-ilma#.U0-bIFc-eMc](http://www.hengityслиitto.fi/hengitysilma/sisailma/hiukkasmaiset-ja-kaasumaiset-epapuh-taudet/kuiva-ja-kostea-ilma#.U0-bIFc-eMc)
- (4) Seppänen O. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto [Helsinki]: Suomen lvi-yhdistysten liitto,
1996
- (5) Juntunen J. Tekniikan Maailma 18E/2013 - Sisäilman ja pintojen epäpuhtaudet.


Alkaen sivulta 102.
- (6)) Hengityслиitto. Hengitysilma. Sisäilma. Hiukkasmaiset ja kaasumaiset epäpuhtaudet. Mi-
neraalivillakuidut. Luettu 10.2.2014 [WWW-dokumentti]
[http://www.hengityслиitto.fi/hengitysilma/sisailma/hiukkasmaiset-ja-kaasumaiset-
epapuh-taudet/mineraalivillakuidut#.U0-baVc-eMc](http://www.hengityслиitto.fi/hengitysilma/sisailma/hiukkasmaiset-ja-kaasumaiset-epapuh-taudet/mineraalivillakuidut#.U0-baVc-eMc)
- (7) Lindab. Tuotteet ja refenssit. Ilmastointi. Äänenvaimentimet. Äänenvaimennusmateriaali.
Luettu 1.4.2014 [WWW-dokumentti]
<http://www.lindab.com/fi/pro/products/pages/acute.aspx>
- (8) Halminen E, Kuvaja O, Köttö R. Ilmastointitekniikka. [Espoo]: Rakennusalan kustanta-
jat; 1994.
- (9) LVI-kortisto. LVI 05-10440. Sisäilmastoluokitus 2008. Sisäympäristön tavoitearvot,
suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset (2008)
- (10) LVI-kortisto. LVI 05-10417. Rakennusten sisäilmaston suunnitteluperusteet (2007)


- (11) Korkala T, Laksola J, Salminen M. Kiinteistön ilmastoinnin hoito ja huolto. 3. uud. p. ed. Helsinki: Kiinteistöalan kustannus; 2002.
- (12) RT-kortisto. RT 56-10831. Asuinrakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän peruskorjaus ja –parannus.
- (13) Suomela. Lämmitys, LVIS. Ilmanvaihto. Ilmanvaihtokanavien puhdistuksella puhtaampaa sisäilmaa. Luettu 1.3.2014 [WWW-dokumentti]
<http://www.suomela.fi/lammitys-lvis/Ilmanvaihto/Ilmanvaihtokanavien-puhdistuksella-puhtaampaa-sisailmaa-62824?p=0>
- (14) RT-kortisto. RT RakMK-21503. D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma. (2011)
- (15) Puolustusvoimat. Maavoimat. Joukko-osastot. Kainuun Prikaati. Varusmieskoulutus. Jalkaväki. Luettu 2.3.2014 [WWW-dokumentti]
<http://www.puolustusvoimat.fi/wcm/SU+Puolustusvoimat.fi/Puolustusvoimat.fi/Maavoimat/Joukko-osastot/Kainuun+Prikaati/varusmieskoulutus/jalkavaki/jalkavaki>
- (16) Kasarmirakennuksen käyttäjät. Haastateltavat ovat mainittu numerokoodeilla
- (17) Lindab. ja refenssit. Ilmastointi. Äänenvaimentimet. Äänenvaimennusmateriaali. Tuoteteeseen liittyvät tiedot. Luettu 1.4.2014 [PDF-dokumentti]
<http://www.lindab.com/fi/documents/ilmastointi/esitteet%20ja%20dokumentit/acutec-aanenvaimennusmateriaali.pdf>


LIITTEET


Liite 1	Puhdistuspöytäkirja
Liite 2	Ilmavirtojen mittauspöytäkirja
Liite 3	Kuituanalyysi
Liite 4	Äänitasomittausten pöytäkirja


Puhdistuspöytäkirja		Pvm. 1.10.2013
Kohteen nimi: KAIPR Kasarmi 2 rappu C		Työn suorittaja: Sotkamon Erikoispuhdistus Oy
Katuosoite: Prikaatintie 122		Osoite: Tehdaskatu 15 P 9
Postinumero: 87600	Postinumero: 87100	Postitoimipaikka: KAJAANI
Postitoimipaikka: Kajaani		E-mail: toimisto@soerpuh.fi
Yhteyshenkilö: Heikki Ohtamaa		Yhteyshenkilö: Pekka Vähäkangas
Puhelin: 0299838046		Puhelin: 044-714 7766
Rakennuksen edustajan nimi:		Puhdistajan edustajan nimi:
Puhdistustyö aloitettu: 12.08.2013 Puhdistustyö lopetettu: 06.09.2013		Arto Tiainen, Pekka Hurskainen
Laskutusosoite:		
Puhdistettava järjestelmä	<input checked="" type="checkbox"/> Koneellinen tulo	<input checked="" type="checkbox"/> Koneellinen poisto <input type="checkbox"/> Painovoimainen
Puhdistus- ja tarkastuskohteet	<input checked="" type="checkbox"/> Koko kanavisto	<input type="checkbox"/> Osat, mitkä
<input checked="" type="checkbox"/> Puhaltimet	<input checked="" type="checkbox"/> Kiertoilmakanavat	<input checked="" type="checkbox"/> Puhdistusluukut
<input checked="" type="checkbox"/> Patterit	<input checked="" type="checkbox"/> Siirtoilmakanavat	<input checked="" type="checkbox"/> Pohjaluukut/tiivisteet
<input checked="" type="checkbox"/> Lämmöntalteenotto	<input checked="" type="checkbox"/> Kammiokanavat	<input type="checkbox"/> Kattoluukut
<input checked="" type="checkbox"/> Sulkupellit	<input checked="" type="checkbox"/> Kammiot	<input checked="" type="checkbox"/> Turvakytkimet
<input checked="" type="checkbox"/> Palonrajoittimet	<input checked="" type="checkbox"/> Venttiilit/päätelaitteet	<input type="checkbox"/> Huippumurit
<input checked="" type="checkbox"/> Tiiveys	<input checked="" type="checkbox"/> Palopellit (+testaus)	<input checked="" type="checkbox"/> LTO-laitteet
<input checked="" type="checkbox"/> Tasapainotus	<input checked="" type="checkbox"/> Äänenvaimentimet	<input checked="" type="checkbox"/> Laakerit
<input type="checkbox"/> Kohdepoistot	<input checked="" type="checkbox"/> Ulkosäleiköt	<input checked="" type="checkbox"/> Kiilahihnat
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> Hihnapyörät
<input type="checkbox"/>		
<input checked="" type="checkbox"/> Suodattimet	<input type="checkbox"/> Puhdistettu	<input checked="" type="checkbox"/> Vaihdettu
<input checked="" type="checkbox"/> Säätopellit	<input type="checkbox"/> Alkuperäiset säätöarvot	<input checked="" type="checkbox"/> Uudet säätöarvot, liite mittapöytäkirja
Käytetyt puhdistusmenetelmät		
Kanavien alipaineistus, mekaaninen harjaus. Päätelaitteiden pesu, koneen imurointi/pesu		
Havaitut puutteet ja tehdyt korjaukset		
Tulopuolella: Äänieristeenä käytetty lasivillaa. Villa poistettu ja korvattu uudella äänieristeellä.		
Kiilahihnat kuluneet, vaihdettu uusiin.		
Laitteisto on yllämainituilta osin puhdistettu ja käyttökunnossa Hyväksyn tehdyn työn		
Pekka Vähäkangas Sotkamon Erikoispuhdistus Oy		Puhdistuttaja


<div></div>				ILMAVIRTOJEN		Mittauspöytäkirja		Mittaja Arto Tiainen Pekka Hurskainen		P. 044-7147766 Päivystys 050-282240	
				Rakennus / laitos Kaipr Kasarmi 2 rappu c 3. jk		Valvoja Pekka Vähäkangas		28.8.2013			
Huonetila/ Mittauspaikka		Suun. (l/s) Tuloilma + Poistoilma -		Mittauslaite tai ventiilityyppi		Asetus, avaus		Todettu (l/s) Tuloilma + Poistoilma -		Huom. Pa	
TUPA	254	70		SV-2+TG 500X100		71		4			
		35		KSO-160	+7			33	48		
				KSO-160	+10			37	48		
TUPA	255	70		SV-2+TG 500X100		71		4			
		35		KSO-160	+10			37	48		
				KSO-160	+9			33	43		
TUPA	253	70		SV-2+TG 500X100		71		4			
		35		KSO-160	+5			35	64		
				KSO-160	+7			35	57		
TUPA	256	70		SV-2+TG 500X100		71		4			
		35		KSO-160	+5			34	61		
				KSO-160	+7			35	57		
TUPA	257	70		SV-2+TG 500X100		71		4			
		35		KSO-160	+7			35	54		
				KSO-160	+7			34	53		
TUPA	241	70		SV-2+TG 500X100		71		4			
		35		KSO-160	+5			35	64		
				KSO-160	+5			35	64		
TUPA	242	70		SV-2+TG 500X100		71		4			
		35		KSO-160	+5			36	66		
				KSO-160	+5			36	66		
TUPA	245	70		SV-2+TG 500X100		71		4			
		35		KSO-160	+4			35	70		
				KSO-160	+5			36	66		
TUPA	243	70		SV-2+TG 500X100		71		4			
		35		KSO-160	+5			34	58		
				KSO-160	+5			34	61		
TUPA	244	70		SV-2+TG 500X100		71		4			


<div> ERIKOIS-PUHDISTUS OY</div>				ILMAVIRTOJEN MITTAUSPÖYTÄKIRJA		Mittaja Arto Tiainen Pekka Hurskainen		P. 044-7147766 Päivystys 050-282240	
Rakennus / laitos Kaipr Kasarmi 2 rappu c 3. jk				Valvoja Pekka Vähäkangas Osoite		28.8.2013			
Huonetta/ Mittauspaikka	Suun. (l/s) Tuloilma + Poistoilma -	Mittauslaite tai venttiilityppi	Asetus, avaus	Todettu (l/s) Tuloilma + Poistoilma -	Pa	Huom.			
	35	KSO-160	+5	34	61				
	35	KSO-160	+5	34	59				
KUIVAUS HUONE 252	30	URH-160	+9	28	45				
	30	URH-160	+9	28	45				
KUIVAUS HUONE 246	30	URH-160	+12	27	33				
	30	URH-160	+12	30	42				
SK 249	15	URH-125	-3	15	64				
SK 248	15	URH-125	0	16	52				
WC	20	URH-125	+3	18	51				
SK 250	15	URH-125	-3	15	65				
KÄYTÄVÄ	307			300		mitattu kanavasta			
	307			320		mitattu kanavasta			
PORTAAT	60	KSO-200	+15	64	163				
PESUHUONE 251									
WC:T	20	URH-125	+12	22	42				
	20	URH-125	+12	21	38				
	20	URH-125	+12	20	33				
	20	URH-125	+12	19	31				
	20	URH-125	+12	20	32				
PISUAARIT	20	URH-125	+12	19	30				
	20	URH-125	+12	19	30				
	20	URH-125	+12	19	30				
SUIHKUT	16	URH-125	+6	17	36				
	16	URH-125	+6	14	26				
	16	URH-125	+6	14	25				
	16	URH-125	+6	13	22				
PESUHUONE 247									
WC:T	20	URH-125	+15	21	31				


<div><div>ERIKOIS- PUHDISTUS OY</div></div>				ILMAVIRTOJEN MITTAUSPÖYTÄKIRJA		Mittaja Arto Tainen Pekka Hurskainen		P. 044-7147766 Päivystys 050-282240	
Rakennus / laitos Kaipr Kasarmi 2 rappu c 3. jk				Valvoja Pekka Vähäkangas		28.8.2013			
Osoite									
Huonetila/ Mittauspaikka	Suun. (l/s) Tuloilma + Poistoilma	Mittauslaite tai venttiilityppi	Asetus, avaus	Todettu (l/s) Tuloilma + Poistoilma	Pa	Huom.			
	20	URH-125	+15	19	25				
	20	URH-125	+15	18	22				
	20	URH-125	+15	17	20				
	20	URH-125	+15	17	20				
PISUAARIT	20	URH-125	+15	16	19				
	20	URH-125	+15	16	17				
	20	URH-125	+15	19	25				
SUIHKUT	16	URH-125	+15	21	31				
	16	URH-125	+15	16	19				
	16	URH-125	+15	16	17				
	16	URH-125	+15	16	17				
TUPA	70	SV-2+TG 500X100		69	6				
	35	KSO-160	+5	35	63				
	35	KSO-160	+3	35	75				
TUPA	70	SV-2+TG 500X100		70	6.5				
	35	KSO-160	+12	37	46				
	35	KSO-160	+8	35	53				
TUPA	70	SV-2+TG 500X100		70	6.5				
	35	KSO-160	+3	32	65				
	35	KSO-160	+5	38	73				
KÄYTÄVÄ	319			330		mitattu kanavasta			
	20	KSO-125	+6	19	28				
WC	20	KSO-125	+3	21	66				
SK	15	URH-125	-3	14	61				
KUIVAUS HUONE	30	URH-160	+6	24	42				
	30	URH-160	+15	36	50				
ISTO	35	SVQ-125		34	7				
	18	KSO-125	+3	19	42				

		ILMAVIRTOJEN		Mittaaja Arto Tainen Pekka Hurskainen		P. 044-7147766 Päivystys 050-282240	
MITTAUSPÖYTÄKIRJA		Rakennus / laitos Kaipr-Kasarmi 2 rappu c 3. jk		Valvoja Pekka Vähäkangas		28.8.2013	
Huonetta/ Mittauspaikka	Suun. (l/s) Tuloilma + Poistilma -	Mittauslaite tai venttiilityyppi	Asetus, avaus	Todettu (l/s)		Huom.	
				Tuloilma +	Poistilma -		
TSTO	161	35	17	KSO-125	+3		
				SVQ-125		34	19
				KSO-125	0		7
				KSO-125	+3		17
				KSO-125		34	17
TSTO	160	35	18	SVQ-125	0		32
				KSO-125	0		7
				KSO-125	0		18
				KSO-125	0		43
				KSO-125	0		42
TSTO	159	35	17	SVQ-125		30	17
				KSO-160	+5		5,5
				KSO-100	-9		TÄYSIN AUKI
				KSO-100	-12		31
				KSO-100			7
VAR	158	7	7	KSO-100			60
VAR	163	7	7	KSO-100	-12		6
KIRJURIN NURKKA	25	18	18	RHU-125	0	26	4
				URH-125	0		19
SK	177	14	14	KSO-100	0		80
				KSO-125	+2		20
WC	178	20	20	KSO-125	+5		56
				KSO-125	+7		44
SUIHKU	179	20	20	KSO-125			29
PESUHUONE	153						
WC:T		20	20	URH-125	+12		40
				URH-125	+12		22
				URH-125	+12		40
				URH-125	+12		20
				URH-125	+12		32
				URH-125	+12		19
				URH-125	+12		30
				URH-125	+12		19
PISUAARIT	20	20	20	URH-125	+12		30
				URH-125	+12		20
				URH-125	+12		18
				URH-125	+12		28
				URH-125	+12		16
				URH-125	+12		21
SUIHKUT	16	16	16	URH-125	+9		4
				URH-125	+9		35
				URH-125	+9		14
				URH-125	+9		19

				ILMAVIRTOJEN		Mittaja Arto Tiainen		P. 044-7147766
				MITTAUSPÖYTÄKIRJA		Pekka Hurskainen		Päivystys 050-282240
Rakennus / laitos KaiPr Kasarmi 2 rappu c 3. jk				Valvoja Pekka Vähäkangas		28.8.2013		
Osoite								
Huonetilä/ Mittauspaikka	Suun. (l/s) Tuloilma Poistoilma +	Mittauslaite tai ventiilityppi	Asetus, avaus	Todettu (l/s) Tuloilma Poistoilma +	Pa	Huom.		
	16	URH-125	+9	13	17			
	16	URH-125	+9	13	16			
ESIKUNTA								
LUOKKA	87	SV-2+TG 500X100		85	5			
	87	SV-2+TG 500X100		85	5			
	35	KSO-160	0		38	110		
	35	KSO-160	-3		33	110		
	35	KSO-160	-3		35	120		
	35	KSO-160	-5		32	130		
	35	KSO-160	-5		33	140		
LUOKKA	87	SV-2+TG 500X100		85	5			
	87	SV-2+TG 500X100		85	5			
	35	KSO-160	0		32	80		
	35	KSO-160	0		35	95		
	35	KSO-160	0		36	100		
	35	KSO-160	0		35	95		
	35	KSO-160	0		39	115		
AULA	50	RHRO-125		50	15			
	50	RHRO-125		50	15			
	50	RHRO-125		50	15			
	46	KSO-200	0		47	170		
TSTO	35	SVQ-125		34	7			
	30	KSO-160	-6		35	170		
	5	KSO-100	-13		9	160		
TSTO	35	SVQ-125		34	7			
	30	KSO-160	-6		35	160		
	5	KSO-100	-15		6	160		
TSTO	35	SVQ-125		32	6	TÄYSIN AUKI		

<div>ERIKOIS- PUHDISTUS OY</div>				ILMAVIRTOJEN MITTAUSPÖYTÄKIRJA		Mittaaja Arto Tiainen Pekka Hurskainen		P. 044-7147766 Päivystys 050-282240
Rakennus / laitos KaiPr Kasarmi 2 rappu c 3. jk				Valvoja Pekka Vähäkangas Osoite		28.8.2013		
Huonetta/ Mittauspaikka	Suun. (l/s) Tuloilma + Poistoilma -	Mittauslaite tai venttiilityyppi	Asetus, avaus	Todettu (l/s) Tuloilma + Poistoilma -	Pa	Huom.		
	30	KSO-160	-4	32	140			
	5	KSO-100	-14	7	160			
TSTO 170	35	SVQ-125		34	7			
	30	KSO-160	-2	32	130			
	5	KSO-100	-5	5	120			
TSTO 171	35	SVQ-125		32	6			
	35	SVQ-125		37	8			
	33	KSO-160	-1	38	120			
	33	KSO-160	-1	38	120			
	33	KSO-100	+10	31	125			
ASIAKIRJA VAR 175	10	KSO-100	-11	11	160			
VAR 174	10	KSO-100	-10	14	190			
KAHVIO 176	70	RHU-160		70	22			
	20	KSO-125	+3	30	120			
	27	KSO-160	-6	30	120			
	27	KSO-160	-8	26	130			
	27	KSO-160	-5	33	140			
KELLARI								
LUOKKA 041	148	PRA-250	4	151	35			
	148	PRA-250	3.5	156	50			
	148	PRA-250	3.5	140	40			
	148	200X250		98		MITATTU KANAVASTA		
	148	200X250		150		MITATTU KANAVASTA		
	148	200X250		190		MITATTU KANAVASTA		
HALLI 032	96	RHU-250		97	6,5			
	96	RHU-250		97	6,5			
	96	RHU-250		97	6,5			
	36	KSO-160	+5	38	75			

<div></div>				ILMAVIRTOJEN		Mittaja Arto Tiainen		P. 044-7147766
				MITTAUSPÖYTÄKIRJA		Pekka Hurskainen		Päivystys 050-282240
				Rakennus / laitos Kaipr Kasarmi 2 rappu c 3. jk		Valvoja Pekka Vähäkangas		28.8.2013
				Osoite				
Huonetta/ Mittauspaikka	Suun. (l/s) Tulolima + Poistolima -	Mittauslaite tai ventiilityyppi	Asetus, avaus	Todettu (l/s) Tulolima + Poistolima -	Pa	Huom.		
	36	KSO-160	+10	37	50			
ETEINEN 030	28	KSO-160	+6	31	45			
KÄYTÄVÄ	30	KSO-160	+10	30	32			
VAR 040	38	TKB-125		38	8,5			
	20	KSO-125	+7	20	32			
KOULUTALAT 033	80	TKB-160		82	18			
	20	URH-160	+9	20	22			
	20	URH-160	+9	20	22			
PUKHUHUONE	55	TKB-160		55	8			
KAAPIT	40	PRA-125	6	44	10			
KUIVAUSKAAPPI	20	PRA-125	6	20	2			
SUIHKU	16	URH-125	+15	14	13			
WC 036	20	URH-125	+18	17	17			
SK 035	8	URH-125	+3	9	27			
VAR 037,7	10	KSO-100	+12	9	9			
	10	KSO-100	+15	9	7			
	037,8	KSO-100	+5	9	17			
	037,3	KSO-100	-3	7	24			
	037,4	KSO-100	+9	11	16			
	10	KSO-100	+7	10	16			
	037,1	KSO-100	+9	11	18			
	10	KSO-100		11	17			
	037	KSO-100	0	7	15			
VAR 038	14	KSO-100	+12	14	22			
	14	KSO-100	+12	13	20			
VAR 039	14	KSO-100	+12	14	23			
	14	KSO-100	+12	13	20			
	14	KSO-100	+18	14	16			

 ERIKOIS- PUHDISTUS OY	ILMAVIRTOJEN				Mittaaja Arto Tiainen		P. 044-7147766 Päivystys 050-282240 28.8.2013
	MITTAUSPÖYTÄKIRJA				Pekka Hurskainen		
	Rakennus / laitos				Valvoja Pekka Vähäkangas		
	Kaipr Kasarmi 2 rappu c 3. jk				Osoite		
Huonetilä/ Mittauspaikka	Suun. (l/s) Tulolima Poistolima + -	Mittauslaite tai venttiiliyyppi	Asetus, avaus	Todettu (l/s) Tulolima Poistolima + -	Pa	Huom.	
			+18	13	14		
		KSO-100					



9649/KUITU/13

TUTKIMUSRAPORTTI

1 (2)

WSP Finland Oy
 Laboratoriopalvelut
 Kiviharjunlenkki 1 D
 90220 OULU
 Puhelin 0207 864 12
 Fax 0207 864 800

23.08.2013

Sotkamon Erikoispuhdistus Oy
 Pekka Vähäkangas
 Tehdaskatu 15 P 9
 87100 KAJAANI

MINERAALIKUITULASKENTA SUODATINKANKAALTA

Analyysimenetelmät Suodatinkankaalle kerääntyneet teolliset mineraalikuidut (yli 20 mikrometrin pituiset) laskettiin valomikroskoopilla. Tulokset koskevat vain tutkittuja näytteitä. Näytteenotosta vastaa tilaaja.

Tulokset

Näyte		Mineraalikuidut (> 20µm) (kpl/m³)
1.	Kuitunäyte ilmastavirrasta. Ilmamäärä 13824m³ /5vrk. Suodattimen tehollinen pinta-ala 23 cm x24 cm	0,02

Työterveyslaitoksen suositus tulotilman ohjearvoksi 1kuitu/m³.

Äänitasomittausten pöytäkirja, 2 jääkärikomppania

Huonetila	Mineraalivilla (dB)	Acutec (dB)
2. kerros		
Tupa 12	28	31
Tupa 17	30	29
Tupa 9	36	36
Tupa 15	32	33
Käytävä, tuloventtiili	43	47
Käytävä, poistoventtiili	46	36
1. kerros		
Tupa 2	28	31
Tupa 4	28	31
Tupa 6	32	31
Käytävä, poistoventtiili	37	38
Käytävä, tuloventtiili	41	47
Varapäällikön toimisto	33	31